

摘要集

目錄

口頭論文宣讀.....	1
壁報發表論文.....	259
學生論文比賽.....	434

高精準度微量元素與同位素分析

High-precision analyses of trace elements and isotopes

Chuan-Chou Shen (沈川洲)^{1,2}¹High-Precision Mass Spectrometry and Environment Change Laboratory (HISPEC), Department of Geosciences, National Taiwan University, Taiwan, ROC.²Research Center for Future Earth, National Taiwan University, Taiwan, ROC

Abstract

High-Precision Mass Spectrometry and Environment Change Laboratory (HISPEC) was established at the National Taiwan University in August 2002. Several geochemical experimental rooms, including a geological rock cutting room with wire saw machines, a class-10,000 carbonate subsampling room with class-100 working benches, a class-10,000 geochemical clean room with class-100 chemistry benches, and a class-10,000 clean machine room with one high-resolution sector-field inductively coupled plasma mass spectrometer (SF-ICP-MS) and one multi-collector ICP-MS (MC-ICP-MS), were well set up. In the past two decades, we have developed high-precision analytical techniques for trace elements and isotopes, published in the leading journals of geochemistry and analytical chemistry as follows. (1) High-precision carbonate dating techniques with 2-sigma precision of ± 0.5 yr or less were established (Shen et al., 2002; 2003; 2006; 2008; 2012). (2) Determinations of carbonate trace element/Ca ratios with 2-sigma errors of ± 0.3 -2.0% were developed (Shen et al., 2007; Lo et al., 2014) (3) Worldwide unique methods of direct measurement of carbonate rare earth elements were reported in *Analytical Chemistry* (Shen et al., 2011) and *Analytica Chimica Acta* (Wu et al., 2018). (3) New half-lives of ^{234}U and ^{230}Th and frontier U-Th dating techniques with new dating limitation to 800 thousand years were presented in the *Geochimica et Cosmochimica Acta* (Shen et al., 2012) and *Earth and Planetary Science Letters* (Cheng et al., 2013). Both papers were cited over 300 and 1000 times, respectively. (4) The best method of sulfur isotopic analysis, allowing small sample sizes, as low as 0.5-3 nmol sulfur, was published in *Analytica Chimica Acta* (Yu et al., 2017). These techniques can be applied to dives and interdisciplinary fields of Earth Sciences, such as environment and climate changes, anthropogenic pollution, paleoclimate, paleoceanography, archeology, human evolution, and geomagnetism.

Keywords: SF-ICP-MS, MC-ICP-MS, trace elements, isotopes

High-precision Magnesium Isotopic Analysis and its potential applications in Continental Weathering and Past Ocean Chemistry

Kuo-Fang Huang · Yung-Hsin Liu · Ruo-Mei Wang
Institute of Earth Sciences, Academia Sinica, Taipei, Taiwan

Abstract

A comparatively rapid, high-sensitivity, high-precision technique for magnesium (Mg) isotope analysis of trace amounts (<50 ng) of Mg by high-resolution multi-collector inductively coupled plasma mass spectrometry (HR-MC-ICP-MS) was developed and is reported here. The technique utilizes a combination of the high-sensitivity Jet interface on Neptune Plus, together with the low-blank and high-efficiency column separation for Mg, which allows us to achieve the optimal condition for accurate and high-precision Mg isotope measurements on geological materials with a variety of sample matrices. This technique was further validated by analyzing a series of international reference materials (iRMs), which span a wide range of the Mg isotope ratios ($\delta^{26}\text{Mg}_{\text{DSM-3}}$: from -0.17 to -4.88‰) and different sample matrices.

The long-term precision of $\delta^{26}\text{Mg}$ for a sample size of 50 ng Mg is better than ± 0.06 ‰ (2SD). Replicate analyses of the iRMs, including BCR-2 (basaltic rock, $\delta^{26}\text{Mg}_{\text{DSM-3}} = -0.17 \pm 0.07$ ‰, 2SD, n= 5), NASS-5 (seawater, $\delta^{26}\text{Mg}_{\text{DSM-3}} = -0.81 \pm 0.06$ ‰, 2SD, n= 17), SLRS-6 (river water, $\delta^{26}\text{Mg}_{\text{DSM-3}} = -1.24 \pm 0.05$ ‰, 2SD, n= 5), JCP-1 (coral, $\delta^{26}\text{Mg}_{\text{DSM-3}} = -1.92 \pm 0.05$ ‰, 2SD, n= 6), CAM-1 (pure Mg solution, $\delta^{26}\text{Mg}_{\text{DSM-3}} = -2.62 \pm 0.06$ ‰, 2SD, n= 50), ERM-AE143 (synthetic Mg solution, $\delta^{26}\text{Mg}_{\text{DSM-3}} = -3.27 \pm 0.05$ ‰, 2SD, n= 5) and IRMM-009 (synthetic Mg solution, $\delta^{26}\text{Mg}_{\text{DSM-3}} = -4.88 \pm 0.06$ ‰, 2SD, n= 5), are in excellent agreement with the recommended values, demonstrating the robustness of the presented protocol for natural materials with different matrices. Applying our high-sensitivity technique, we are able to generate high-precision and reproducible Mg isotope data for natural materials, such as natural waters and marine carbonates, which can provide complementary information on the geochemical cycle of Mg on Earth surface. Potential applications in continental weathering and past ocean chemistry will be presented at the meeting

Using trace metal isotopes to study marine biogeochemistry: Fe and Zn cycles in the Pacific Ocean

Wen-Hsuan Liao^{1,2}, Tung-Yuan Ho^{3,4}, Chen-Feng You¹

¹Department of Earth Sciences, National Cheng Kung University, Tainan, Taiwan

²Department of Ocean systems, Royal Netherlands Institute for Sea Research (NIOZ), Texel, The Netherlands

³Research Center for Environmental Changes, Academia Sinica, Taipei, Taiwan

⁴Institute of Oceanography, National Taiwan University, Taipei, Taiwan

Trace metals are required for numerous processes in phytoplankton, who controls marine primary production – the foundation of marine food web. Among different metals, iron receives most attention because it can limit the growth of phytoplankton in around 30 % of the global ocean. The second important one, Zinc, is used intensively in human's daily life and a bio-essential metal, so Zn can be an ideal metal to trace anthropogenic activities. Studying trace metals thus can improve our understanding of material cycling in the ocean and help us to investigate the impact of human's activities on the ocean. In the past decade, the successful GEOTRACES program have significantly advanced our knowledge about the distributions of trace metals and their isotopes in the ocean. Combining trace metal concentrations, metal isotopic composition can be a very useful proxy to obtain further information to understand marine trace metal cycling. During my talk, I will show you how I use metal isotopes to study the sources and internal cycling processes of trace metals in the ocean: 1) Using Zn isotopes to investigate the impact of anthropogenic aerosols on the trace metal cycles in the Northwestern Pacific Ocean; 2) Using Fe isotopes to study sedimentary Fe input, an important but underestimated source of Fe to the ocean.

Application of Mo isotopes in Taiwan rivers

應用鉬同位素於台灣河川之研究

Shail Vijeta Ekka^{1,2,3}, Yu-Hsuan Liang², Kuo-Fang Huang^{1,2}, and Der-Chuen Lee^{1,2*}

¹ Taiwan International Graduate Program, Earth System Science Program (TIGP-ESS), Academia Sinica and
National Central University, Taiwan

² Institute of Earth Sciences, Academia Sinica, Taipei 11529, Taiwan

³ Department of Earth Sciences, National Central University, Taoyuan 32001, Taiwan

*Correspondence: dcllee@earth.sinica.edu.tw

Recently, application of non-traditional stable isotopes e.g., Molybdenum (Mo) isotopes are emerging as a potential proxy in understanding Earth's surface processes like terrestrial weathering. Besides, it can be helpful as a tracer in constraining the source and fate of anthropogenic metal pollutants in the river system. The Mo abundance and its Mo isotopic composition from major river catchments were investigated to better understand the geochemical behavior of Mo and its fractionation mechanism during weathering and fluvial transport in a tectonically active high-stand island (Taiwan), and elucidate the mechanism that drives the heavy $\delta^{98/95}\text{Mo}$ in Taiwan's rivers. To delineate the source a set of host rock, fluvial bedload sediments and industrial wastewater samples were also measured. The results demonstrate that the heavy Mo isotopic composition in Taiwan's rivers is likely due to incongruent weathering of host rocks. Moreover, as these rivers flow through various lithological units, it is not straightforward to recognize a common isotope fractionation mechanism. However, overall the sequestration of lighter Mo isotopes that are associated with fine-grained residual products of weathering like Fe-Ti oxides present in the fluvial bedload sediments acts as a sink for lighter $\delta^{98/95}\text{Mo}$. While, few rivers are impacted by anthropogenic pollutants and seawater. Based on these data, our results illustrate the potential use of Mo isotopes as a geochemical tracer of chemical weathering processes, as well as source tracer for anthropogenic input, governing the Taiwan's river system, thus having important implications on the global Mo cycle and temporal variability of riverine Mo supply to the ocean.

Keywords: Mo isotopes; application; Taiwan rivers; chemical weathering, anthropogenic Mo.

獨居石 U-Th-Pb 雷射剝蝕感應耦合電漿質譜定年系統設置的初步成果
Preliminary performance of LA-ICPMS U-Th-Pb monazite dating system

Jian-Wei Lin¹, Hao-Yang Lee¹, Chi-Yu Lee², Cheng-Hong Chen²

1. Institute of Earth Sciences, Academia Sinica
2. Department of Geosciences, National Taiwan University

Abstract

Monazite [(Ce, La, Nd, Th)PO₄] is an accessory mineral that commonly crystallizes in peraluminous granite and medium to low-temperature meta-sedimentary rock. Due to high uranium and thorium contents and typically low common lead, monazite is widely used as a U-Th-Pb geochronometer by in-situ methods of SIMS and LA-ICPMS techniques. The analytical instrumentation, a Photon Machine 193 nm laser ablation system coupled with an Agilent 7900 quadruple ICP-MS, utilized here is installed at the Institute of Earth Sciences, Academia Sinica. To obtain accurate age data with maximum precision, seven monazite reference minerals (RMs) of Elk (1390 Ma), Namaqualand (1060 Ma), Iveland (930 Ma), TS (910 Ma), Bananeria (510 Ma), DIA-2 (495 Ma) and Jefferson (365 Ma) are applied a variety of laser repetition rates and spot sizes. We find a laser repetition rate of 5Hz with constant energy density of 2.36 J/cm² and spot size of 15 μm as optimal running conditions, under which all ages of RMs calibrated by primary standard of Bananeria agree with their respective U-Pb concordia ages within ±2.0% of uncertainty. In addition, LA-ICPMS ages of monazites from Western Taiwan and Yunkai Massif, using the same parameters, are consistent with those obtained EMP ages of ~1800 Ma, ~430 Ma and ~230 Ma. The preliminary results indicate that the LA-ICP-MS technique employed in this study allow accurate and precise U-Pb ages on monazites of variable ages between ~1.8 Ga and 230 Ma.

Keywords: Monazite, U-Th-Pb geochronology, LA-ICPMS

A new semiautomatic graphitization system using H₂ reduction at

NTUAMS Lab

Tzu-Tsen Shen¹, Hong-Chun Li¹, Rick Qiu¹

¹Department of Geosciences, National Taiwan University, Taipei, Taiwan

Abstract

The NTUAMS Lab has built up a low-cost, compact, and computer-controlled graphitization system since December 2021. The device contains 6-unit reactors for the reduction of CO₂ with H₂ on iron catalyst and is directly connected to an elemental analyzer (EA). For each reactor volume, CO₂ gas pressure of ca. 390 mbar corresponds to 1 mg carbon mass. The sample with carbon mass of 0.5–1.5 mg can be prepared to obtain good quality graphite. The procedures take about 7 hours for ion condition, sample combustion and loading, and graphitization. The new H₂-reacted graphitization system is four times faster than the Zn reduction method that we have used since 2015. The system has a stable and low background with a mean ¹⁴C/¹²C value of (4.30±1.52)E-15 (n = 40) for the anthracite samples (BKG) and steady OXII standard measurements with a mean ¹⁴C/¹²C value of (1.116±0.029)E-12 (n = 27). The batch tests of inter-comparison standards (FIRI-L and FIRI-M) have shown that the measured ¹⁴C ages are almost identical to the consensus values with small standard deviations. During the past year, the system has been carrying out graphitization for samples including plant, peat, stalagmite and sediment. The graphite samples produced by the system have resulted in reliable ¹⁴C dates and contributed to our research projects significantly. The new graphitization system provides a more efficient and convenient way for organic sample preparation for AMS ¹⁴C dating.

Keywords: AMS ¹⁴C dating, graphitization system, Hydrogen reduction, organic carbon

實驗制約探討針鐵礦對於砷的富集機制

呂弘立¹、洪崇勝²、鍾維安¹、偕嘉如¹、黃麗雲¹、江威德¹、楊懷仁^{1,*}

(1)國立成功大學地球科學系、(2)中央研究院地球科學研究所

摘要

鐵氫氧化物可以透過共沉澱、吸附、相轉變的方式富集砷，地下水中的砷汙染可以溯源至沉積物中的鐵氫氧化物分別在氧化與還原的條件下，從礦物釋放砷到水體以及礦物形成時擷取水體中的砷的過程。本研究透過實驗制約合成兩種不同的含砷針鐵礦，以及比較台灣西南部受到嚴重砷汙染二仁溪的鐵礦物結核。天然的鐵礦物結核經X光繞射分析圖譜鑑定主要成分為針鐵礦(α -FeOOH)，經由連續萃取法(sequential extraction procedure, SEP)分析吸附砷的比例約在10%到22%，其餘皆為結構砷。合成兩種不同含砷針鐵礦分別為Gt12以及Gt7，Gt12是由硝酸鐵混合氫氧化鈉溶液加熱共沉澱而得，上清液為pH 12；而Gt7則是由硫酸亞鐵混合碳酸氫鈉溶液通入空氣氣流曝氣快速氧化製成，其上清液為pH 7。1000 ppm的砷標準溶液會依不同劑量摻入含鐵溶液，初始砷濃度為0.1、0.5、1、10、50 ppm。對應不同初始砷濃度，Gt12每克的針鐵礦可以擷取0.005、0.035、0.065、0.427、1.17毫克的砷；Gt7每克則可以擷取0.024、0.131、0.240、2.20、10.4毫克的砷。在相同初始砷濃度的系統當中，Gt7的針鐵礦可以富集比Gt12多一個數量級的砷，同時Gt7幾乎99.99%移除系統中所有的砷，而Gt12隨著初始砷濃度增加對砷的移除率從74%降到25%。依照固液比為0.01 g/10 mL經SEP分析，比較初始砷濃度為0.1 ppm，Gt12的吸附砷比例為11%，結構砷比例為89%；Gt7的吸附砷比例為16%，結構砷比例為84%。合成的含砷針鐵礦與天然的鐵礦物結核，在形成時砷都主要偏向進入礦物的結構中。

嘉南平原的地下水砷汙染平均濃度大約在0.1–0.3 ppm，很少有超過0.5 ppm。初始砷濃度為0.1 ppm的Gt12其砷鐵質量比(As/Fe)約為 5×10^{-6} ，Gt7約為 3×10^{-5} ，天然的鐵礦物結核約為 $1-8 \times 10^{-4}$ ，顯示針鐵礦直接由低砷濃度水體共沉澱時所富集砷的能力不足以造成自然界的鐵礦物結核有如此高砷含量的結果。含砷的天然鐵礦物結核形成前砷元素與鐵元素的來源是一條很重要的線索，沉積物當中深埋的硫化鐵礦物像是黃鐵礦(Pyrite)以及磁黃鐵礦(Pyrrhotite)形成過程是由細菌將硫酸根離子還原成硫化物，一旦環境中有鐵，硫化鐵礦物就會形成，此時可溶性的砷會在礦物成長的過程進入其中。富集砷的硫化鐵礦物從極度還原的環境來到地下水中會被氧化溶解而釋放出鐵與砷元素，鐵濃度達到飽和時針鐵礦會很迅速的再沉澱回硫化鐵礦物的表面，此時表面局部的砷由於硫化鐵礦物的釋放導致濃度上升到超過地下水原有的0.1–0.3 ppm，使針鐵礦得以在較高砷濃度下共沉澱出。Gt12初始砷濃度為10 ppm的As/Fe為 5×10^{-4} ，而Gt7在初始砷濃度為1 ppm的As/Fe為 4×10^{-4} ，與天然的鐵礦物結核的As/Fe較為接近。對於Gt7的前驅物使用硫酸亞鐵溶液與硫化鐵礦物還原溶解到水體中釋放出的亞鐵離子與硫酸根較為吻合，同時地下水的酸鹼值約在pH 7，與Gt7共沉澱後的上清液酸鹼值一致。Gt7不需要像Gt12達到10 ppm如此高砷濃度的條件才足以沉澱出高As/Fe的針鐵礦，只需要砷濃度稍微增加至0.5–1 ppm即可達到。高砷鐵比的針鐵礦在相對氧化的地下水環境可以穩定存在，但當有還原性流體經過時針鐵礦會還原溶解將砷釋放回水體中，造成主要地下水砷來源的原因。

- (1) 就讀學校：國立成功大學/指導教授：楊懷仁博士
- (2) 地球科學系碩士班/二年級
- (3) E-mail：jeff0920207796@gmail.com

實驗探討水鐵礦於環境砷循環之角色

梁家愷、偕嘉如、黃麗雲、江威德、楊懷仁*

國立成功大學地球科學系

摘要

在地下水砷模型中，針鐵礦被認為是還原溶解的主要貢獻者。但這會忽略針鐵礦的前驅物之一的水鐵礦所帶來的貢獻。本文報導了合成水鐵礦中共沉澱的砷數據，對於在環境中砷循環提供更多限制。合成的水鐵礦藉由混合硝酸鐵(III)及氫氧化鈉溶液，並控制 pH 值範圍在 7-8 之間，且分別含有 0.1、0.5、1、5、10 和 50 ppm 砷濃度。混合物在老化 24 小時，沉澱物沉澱後，經由冷凍乾燥處理成粉末，並具有短程有序水鐵礦 XRD 特徵峰。合成後的殘留溶液，其砷濃度低於 Q-ICP-MS 的偵測極限，代表水鐵礦具有強的砷吸收能力。殘留在溶液中的鐵濃度低於 1 ppm，代表溶液中所有的鐵都進入約 6.5 g 水鐵礦沉澱物中。

這些水鐵礦樣本使用我們新開發的砷連續萃取法進行分析，其中固液比(S/L)為 0.01 (10 ml 試劑中含有 0.1 g 固體)，草酸程序重複三次以量化吸附和共沉澱砷的比例。連續萃取的結果顯示，在初始砷濃度 0.1-50 ppm 的溶液中，共沉澱砷的比例 > 90% 總水鐵礦吸收砷。代表水鐵礦具有非常高的砷共沉澱能力。以 Mn 氧化物和無定形羥基氧化物為目標的 0.1 M 鹽酸羥胺溶液萃取了零量的砷。超過 80% 的共沉澱砷透過兩次草酸萃取步驟回收，且獲取相似百分比的鐵，代表草酸步驟對於水鐵礦及針鐵礦的選擇性低。因此，當草酸萃取回收大量砷時，必須認真考慮水鐵礦在砷從沉積物和土壤釋放到地下水中的作用。

為了模擬含 10% 水鐵礦之沉積物進行連續萃取，進行 S/L = 0.001 (10 ml 試劑中含有 0.01 g 固體) 連續萃取，結果與 S/L = 0.01 相似，然而在第一次草酸步驟，即可回收 > 80% 總水鐵礦吸收砷，說明以我們研發的連續萃取步驟分析沉積物，只需重複進行兩次草酸步驟，即可回收目標的砷。

此外在各連續萃取步驟後，將水鐵礦樣本進行 XRD 分析，結果表明樣本在歷經氯化鎂、磷酸二氫銨、鹽酸羥胺步驟後，水鐵礦樣本沒有因此產生相變或是溶解。近一步證實磷酸二氫銨步驟只萃取吸附砷。而經草酸步驟後，水鐵礦會在此步驟溶解，並釋放出砷、鐵，水鐵礦樣本中的針鐵礦及赤鐵礦會被保留，直至抗壞血酸步驟才能完全溶解。這證實了在草酸步驟後的抗壞血酸步驟對於分辨水鐵礦或其他鐵氧化物礦物提供的砷具有高選擇性。

最後還分析了各連續萃取步驟 As/Fe 比值對於初始砷濃度 = 0.1-50 ppm 相關性，結果表明初始砷濃度對於草酸及抗壞血酸步驟 As/Fe 比值有高度相關性，代表結構中的砷濃度受到初始砷濃度的影響，雖然 XRD 的結果得知，抗壞血酸步驟的砷及鐵由針鐵礦及赤鐵礦提供，然而 As/Fe 比值對於礦物相的相關性仍然有待進一步的實驗驗證。

- (1) 國立成功大學地球科學系/楊懷仁
- (2) 碩士生/二年級
- (3) kent310102@gmail.com

臺灣的孕震構造

陳文山¹、吳逸民¹、楊耿明²、葉柏毅¹、洪佳嘉¹、
柯明淳¹、楊清淵¹、柯孝勳¹

1. 臺灣大學地質科學系
2. 成功大學地球科學系
3. 國家災害防救科技中心

摘要

本研究利用三十二年（1990–2022 年）以來的地震資料以及震波反演的地殼速度構造模型，並配合地質構造特性，共同探討並建立臺灣各地質構造區與鄰近海域的孕震構造（地震帶）。首先由北而南於垂直地質構造帶走向截切了 29 個震波層析成像速度構造剖面，另於平行山脈走向截切了 18 個震波層析成像速度構造剖面。本研究也依此資料透過 SKUA-GOCAD™ 軟體，建立孕震構造與部分地殼構造的三維數值構造圖。目前共劃分了 27 個地震帶，及 3 處無震帶。

本研究的地震觀測時間僅有 32 年，對於每個孕震構造的大地震週期而言，確實是非常的短暫，應該還有孕震構造未被認定。依據地震與地質構造特性，本研究劃分了 27 個地震帶，及 3 處無震帶。1. 海岸平原地質構造區：北港高區無震帶。2. 西部麓山帶地質構造區：桃竹苗、中彰投、雲嘉南、高屏地震帶、泰安地震帶、草屯地震帶、台中地震帶、阿里山地震帶、口社地震帶。3. 雪山山脈地質構造區：李棟山地震帶、雪山地震帶、埔里地震帶。4. 脊樑山脈地質構造區：脊樑山脈地震帶、中央山脈斷層地震帶、東澳–南澳地震帶、寶來地震帶、阿禮地震帶、脊樑山脈中段無震帶。5. 海岸山脈地質構造區：縱谷斷層地震帶、豐濱地震帶、綠島–蘭嶼地震帶。6. 北臺灣張裂帶地質構造區：大屯火山地震帶、龜山島火山地震帶、三星地震帶、濁水斷層地震帶、沖繩海槽地震帶、觀音高區無震帶。7. 馬尼拉隱沒帶：馬尼拉班氏地震帶。8. 琉球隱沒帶：琉球班氏地震帶、琉球增積岩體地震帶。

A new approach of wedge deformation theory (D-layer) - example from Taiwan orogen

Yuan Hsi Lee*¹, Eh Tan*², Chai Bin Chang¹, Chase J. Shyu^{2,3}

(1) Department of Earth and Environment Sciences, National Chung Cheng University, Taiwan · (2) Institute of Earth Sciences, Academic Academia Sinica, Taiwan · (3) Department of Earth Sciences, National Center University, Taiwan

Abstract

The wedge deformation theories have been applied to interpret the mechanism of small-scale orogen such as Taiwan orogen. Although previous theories capture the first-order behaviors but difficult to reconcile to the complex natural processes. Here we develop a new D-layer thermomechanical wedge deformation theory with three main parameters, brittle-to-ductile transitions from shallow to the deeper crust, erosion/sedimentation depending on hillslope and lithology, and geometry of the wedge. A numerical model based on the new theory can closely reproduce the complex geological structures, thermochronology ages, metamorphic temperature, cooling and exhumation rate, and strain conditions of the northern Taiwan orogenic belt. The new theory shows that ductile deformation consumes nearly half of the shortening and explains the mechanism of the out-of-sequence fault and center Range fault in Taiwan's orogenic belt.

以臺灣中部新近系地層碎屑鋯石紀錄來探討前陸隆起演化

賴美澄¹、李通藝¹、林郁伶¹、楊智宇¹、葉孟宛¹、吳榮章²、
李皓揚³、飯塚義之³

(1)國立臺灣師範大學地球科學系、(2)臺灣中油股份有限公司探採事業部、(3)中央
研究院地球科學研究所

摘要

由於歐亞板塊與菲律賓海板塊的弧-陸碰撞，臺灣形成了褶皺逆衝造山帶，並因造山荷重逐漸增厚岩石圈，讓逆衝褶皺帶前緣產生撓曲，生成前陸盆地及前陸隆起，後充填沉積物於前陸盆地中。但學者們對於被動大陸邊緣轉變至前陸盆地的確切時間仍有不同估計，範圍約在12.5到6.5 Ma之間。本研究選擇具有較多鑽井資料、地層控制良好且沉積連續的台灣中部苗栗地區三個剖面的碎屑鋯石資料，基本上數據取自中中新統的南港層到早上新統的桂竹林層，以期獲取有關臺灣中部從被動大陸邊緣轉變至前陸盆地之變動資訊、碎屑鋯石頻譜所指示出的海平面升降變化及構造演化。由結果得知：苗栗後龍溪與明德水庫剖面最早開始受到前陸隆起影響的時間皆於南莊層(約12 Ma)，但後龍溪開始的時間(東坑層至上福基砂岩)稍早於明德水庫剖面(上福基砂岩至關刀山砂岩段)，至於中部大安溪剖面則無明顯變化，可能和古地形有關。另外，在後龍溪剖面的關刀山砂岩段碎屑鋯石頻譜中，發現了一個僅見於該地層的668 Ma小峰值，而該相似的峰值從未見於臺灣之報導，但出現於武夷山的碎屑鋯石頻譜紀錄中(670 Ma)，故可能是因為該地層當時位處低水位體系的時期(海退)，使古閩江向上游切蝕較古老基盤物源並將其搬運堆積至此。還有，本研究也發現，三個剖面的關刀山砂岩段，雖僅距離約50公里，基本上具有相同之岩性，但其碎屑鋯石年代頻譜紀錄卻因構造作用、海平面升降變化而有所差異；顯示出碎屑鋯石對於海平面升降變化、構造演化反應的靈敏性。

以數值動力模型模擬從張裂到被動大陸邊緣時期拉張盆地內地殼溫度的演化
Numerical modelling of crustal temperature evolution in extensional basins from rifting to
passive continental margin.

鄭名鈞¹、李元希¹、譚諤²

1.國立中正大學地球與環境科學所 2.中央研究院地球科學所

Abstract

在大陸邊緣的張裂時期，地殼因張裂作用被拉薄，形成拉張盆地，正斷層盆地內發育，並伴隨沉積巨厚的沉積物。地殼拉薄過程中，因地函上升，將提升盆地內地殼與沉積物地溫梯度。這些拉張盆地在張裂作用結束後會位於大陸邊緣，而後受到板塊擠壓造成造山帶的變形。以台灣造山帶為例，由大南澳變質雜岩、雪山山脈到西部麓山帶，這些區域在不同時間皆處歐亞大陸板塊邊緣，歷經張裂到被動大陸邊緣的階段。

本研究利用數值動力模型模擬拉張盆地在大陸邊緣的張裂時期以及拉張停止後的被動大陸邊緣時期盆地內沉積岩的溫度變化。我們發現盆地在每年 0.7 公分的拉張速度下，持續拉張 11 個百萬年後，盆地內地溫梯度可升至每公里 50~60°C，沉積岩最高溫度可到 450~500°C，在拉張停止，經歷 20 個百萬年的冷卻後，沉積岩的溫度降低近 100°C，且地溫梯度降至約每公里 30°C。

我們認為這樣的現象可以對應到雪山山脈經歷張裂到被動大陸邊緣的階段。雪山山脈為台西盆地一部分，在始新世到漸新世處於張裂階段，中新世則轉變為被動大陸邊緣。在張裂階段時，盆地內沉積岩的溫度達到碳質物拉曼光譜法(RSCM)所得到的高變質溫度 450~500°C。而在被動大陸邊緣時期逐漸冷卻，在台灣開始造山前已冷卻近 100°C，同樣在中橫與北橫得到的 RSCM 變質溫度高於鋯石核飛跡封存溫度，但部分區域的鋯石核飛跡並未得到癒合年代，這些現象可能是由於碳質物拉曼光譜法(RSCM)所得到的高變質溫度並不是發生在蓬萊運動時期，而是繼承自過去的拉張事件。

關鍵字：歐亞大陸邊緣、張裂作用、數值模擬、變質溫度

Keyword : Eurasian continental margin, Rifting, Numerical modelling, Metamorphic temperature

The exhumation history of the middle Hsuehshan Range, Taiwan, as revealed by zircon thermochronological modeling

Chase J. Shyu¹, Eh Tan², Linda A. Kirstein³, Finlay M. Stuart⁴, and Yue-Gau Chen^{5,6}

¹Taiwan International Graduate Program (TIGP) - Earth System Science Program, Academia Sinica and National Central University, Academia Sinica, Taiwan.

²Institute of Earth Sciences, Academia Sinica, Taiwan.

³School of GeoSciences, University of Edinburgh, EH9 3FE, UK.

⁴Scottish Universities Environmental Research Centre, G75 0QF, UK.

⁵Research Center for Environmental Changes, Academia Sinica, Taiwan.

⁶Department of Geosciences, National Taiwan University, Taiwan.

Abstract

The Taiwan orogenic belt has high precipitation and high exhumation rates (3-6 km/Myr), making it a natural laboratory for understanding how erosion, tectonics, and climate interact. Understanding how rock exhumation rates have evolved since the late Miocene is key to unraveling climate–tectonic interactions. In this study, we present 8 new zircon fission track (ZFT) and (U–Th)/He (ZHe) cooling ages (including 2 unreset ages) from 5 samples from elevations of 1,700 to over 3,300 m around the highly incised Dajia River in the middle Hsuehshan Range (mid-HR) in central Taiwan. Two of the ZFT and ZHe ages (5.3 Ma and 2.6 Ma) are the oldest ages recorded in this region. These ages suggest that the cooling rate of mid-HR is lower than that of the Backbone Range and Yushan. With these and previously published cooling ages, we modeled the exhumation and cooling history using a 2-D thermal diffusion equation with time-varying erosion. The ZFT and ZHe ages are best explained by a steadily increasing exhumation rate up to $3.4+0.5/-0.3$ km/Myr from 6.5 to 1 Ma. The exhumation rate in the last million years is not as well constrained but appears to have increased at a slower rate. Our findings suggest that mid-HR has undergone a steady collisional process that differ from the rapid increase of exhumation in the last 1-2 Myr proposed in previous studies. We propose that the topographic relief of the mid-HR has steadily increased since the onset of the collision, followed by the near present-day topography in the last 1 Myr. The mid-HR reached its topographic steady state through a steady increase in the exhumation rate, suggesting that mid-HR has undergone a progressive thickening of the crust and that tectonics is the primary driver of mountain building in this region.

Keywords: Hsuehshan Range, Numerical model, Zircon Thermochronology

海岸山脈馬達吉達溪剖面碎屑鋯石及磷灰石核飛跡定年研究—探討造山山脈之剝蝕歷史

許庭慈¹、陳文山¹、朱美妃¹

Ting-Chih Syu¹, Wen-Shan Chen¹, Mei-Fei Chu¹

⁽¹⁾ 國立臺灣大學地質科學研究所

摘要

中期中新世以來，歐亞大陸隱沒至菲律賓海板塊之下形成一系列火山島弧，隨後大陸邊緣與島弧碰撞。隨著山脈抬升剝蝕，大量沉積物堆積至造山帶周邊的前陸盆地。本研究為探討初期造山山脈剝蝕歷史，於海岸山脈馬達吉達溪進行鋯石(ZFT)與磷灰石核飛跡(AFT)定年分析，回推源區山脈早期的剝蝕冷卻歷史。

本研究於蕃薯寮層與八里灣層共分析 12 個砂岩與 1 個變質砂岩礫石樣本的 AFT 與 ZFT 年代。礫石可直接反映母岩之熱事件紀錄，而砂岩則反映流域中所有被剝蝕岩層之冷卻歷史。礫石樣本 AFT 年代呈完全癒合年代，ZFT 年代則呈部分癒合年代，因此推測此礫石變質溫度介於 200~260°C。由於該礫石位處海底崩積層中，前人研究認為其崩積自北部的水璉礫岩，對比陳彤軒(2021)水璉礫岩的礫石核飛跡定年結果，該研究透過冷卻速率推測礫石來自脊樑山脈太魯閣帶。砂岩 AFT 定年結果顯示，最年輕峰值年代皆為完全癒合年代，而 ZFT 最年輕峰值年代則多為部分癒合或未癒合年代，分別在蕃薯寮層與八里灣層頂部出現完全癒合年代，代表源區出露岩層的最高變質溫度大多介於 135~260°C 之間。根據 AFT、ZFT 與砂岩岩象分析結果推測，源區山脈於 4Ma 大量出露硬頁岩，3Ma 開始出露板岩層，2Ma 板岩岩屑減少，1.7Ma 才大量出露板岩層。

透過沉積物核飛跡年代與沉積年代可計算樣本遲滯時間，綜合本研究的砂岩與前人的礫石 AFT 定年結果，發現遲滯時間分布不符合理想反剝蝕序列，本研究推測 2Ma 以前盆地僅接收來自單一源區的岩屑，2Ma 以後的碎屑沉積物可能來自兩個以上的源區，代表 2Ma 以後的砂岩 AFT 年代屬於多源區混合年代。根據遲滯時間的七個假設，本研究提出幾個可能的原因：(1)源區有斷層活動，使得較老的岩層逆衝至原本的岩層之上；(2)造山山脈由北向南抬升，導致變質度較低的岩層出露；(3)河流已侵蝕至片岩帶西側的板岩帶，造成 AFT 年代突然變老。

關鍵字：核飛跡定年、蕃薯寮層、八里灣層、脊樑山脈、剝蝕歷史

臺灣脊樑山脈南部橫貫公路之磁性組構研究與隱示

許寧珊¹、葉恩肇¹、曾雅筑¹、傅慶州²國立臺灣師範大學地球科學研究所¹、中央研究院地球科學研究所²

摘要

臺灣位於歐亞板塊及菲律賓海板塊相互隱沒的交界帶，如此特殊的地體構造使臺灣擁有複雜的地質演化史。其中，脊樑山脈經歷多次且長時間的變動，但其變形歷史尚未釐清，由於磁性組構及磁感率異向性的方法已可應用於造山帶應變史之研究，因此本研究將藉由磁性組構及磁感率異向性解析橫跨脊樑山脈南段的應變特徵，進而了解脊樑山脈的變形歷史。

本研究區域位於臺灣南部橫貫公路的東段，由埤口向東延伸至初來，橫跨畢祿山層、太魯閣帶、玉里帶、初來層四個地質區，野外工作主要沿線觀察記錄露頭構造位態並採集定向岩石樣本。室內將定向樣本製備成每邊長 2.2 公分的正立方體，利用非均向磁感率測磁儀測得樣本的三軸磁感率方向與數值，且將測量所得的磁感率橢球體視作應變橢球使用，建立脊樑山脈南段的東西向應變剖面，並配合溫度-磁感率及磁滯曲線實驗加以確認磁性礦物種類。

磁感率橢球體的初步成果以下半球投影圖可觀察到磁性組構與岩石組構的葉理與線理之間相互吻合，由西到東磁性線理由指向東南轉為東北-西南方向，岩石葉理由向東傾轉為向西傾，且磁性線理的轉變早於岩石葉理的轉變。磁性參數與距離關係圖指出，整個南橫東段由西到東平均磁感率和異向性都只有在岩性交界和地層交界附近有較高的數值，太魯閣帶中由西向東有異向性升高且伴隨形狀參數由平板狀轉為橢球狀的分佈，其餘地質區的磁性參數分佈較均一。形狀參數與校正異向性和磁性線理強度與磁性葉理強度的關係圖顯示，四個地質區皆是分佈在橢球狀到平板狀的區域，無法觀察出明顯的變形路徑。

後續將透過磁性礦物的辨認，以更準確地了解南橫沿線磁感率特性分佈是否

為造山變形的產物，並配合與前人野外構造資料的比對，預期能解析臺灣造山帶所經歷的變形歷史，以提供更多資訊探究臺灣脊樑山脈應變史。

關鍵字：脊樑山脈、南部橫貫公路、磁性組構、磁感率異向性、應變橢球、變形歷史

地科學門110年度重點研究計畫 成果發表

流體存在與循環的關鍵證據：造山帶的快、慢地震之 整合分析

The interplay between fast and slow earthquakes and its relation with fluid pressure cycling in an collisional mountain belt

陳卉瑄¹、陳建志²、許雅儒³

(1) 國立臺灣師範大學地球科學系、(2) 國立中央大學地球科學系、(3) 中央研究院
地球科學研究所

摘 要

除了隱沒帶之外，能讓我們窺見地球系統水循環的關鍵地點，還有快速抬升、崛起的年輕造山帶。台灣的弧陸碰撞造山帶，與典型隱沒帶表現的流體循環特徵可能不同，對認識流體的來源及循環、應力累積過程中其孔隙壓變化與孕震週期之關係，有指標性的意義。許多隱沒帶發現，流體孔隙壓週而復始的變化主控著1~2年復發一次的慢地震週期，甚或連帶觸發了鄰近的群震與巨大逆衝斷層地震，這讓慢地震被視作追蹤深部流體移棲的關鍵指標。流體孔隙壓變化如何從地球物理現象追蹤？而其在什麼空間和時間範圍變動？如何影響地震的週期？而，對於深部與淺部流體的鏈結，我們又知道多少？本三年計畫依據三項指示著無震滑移行為的快、慢地震學特徵，進行目錄的整合和更新，以理解流體運移的時空特性。

本重點計畫於2022年八月一日開始執行，至今七個月期間，完成的工作分別為(1) 更新長微震、群震與重複地震目錄至2017年(3) 重複地震、長微震和群震之時空相關性分析(4) 電阻的施測位置選定與架設(5) 進行地下水資料與重複地震、群震資料的比較和分析。本研究假設快、慢地震的活動性，主要受到兩大主因調配，一為水文荷重和潮汐效應，二則為深部超額孔隙水壓的時變性。水文荷重的應力調整，在不同的斷層型態會有相反的調制，然深部流體的影響，卻不因斷層型態而異。逆斷層為主的長微震，呈現乾季活動頻繁、濕季活動性降低的趨勢，同樣以逆斷層為主的重複地震亦有相似趨勢：年初滑移速率快、年中滑移速率慢；而正斷層為主的群震，呈現了年初活動較頻繁、年中活動性低的特性，這三種對應到無震滑移行為的地震現象之活躍性，皆發生在乾季，說明水文荷重和潮汐的共同效應，影響地下應力的長期調配（數月至數年），可能是影響快、慢地震季節性活動的關鍵。未來量化造山帶流體循環的特徵，我們將專注於更短期的時間表現 - 群震、觸發型重複地震(burst-type repeater)和長微震群(短時間密集發生)的時空關係，進行深入分析和釐清。

Diverse and decoupled origins of gases from mud volcanoes and temporal variability of methane sources in Taiwan: Evidence based on paired methane isotopologues and multi-isotope systematics

台灣泥火山多樣化與不共源之氣體成因及甲烷來源時序上的變化: 甲烷叢集同位素跟多種同位素系統的證據

Yueh-Ting Lin¹, Jhen-Nien Chen¹, Douglas Rumble², Edward D. Young³, Jabrane Labidi⁴, Tzu-Hsuan Tu⁵, Pei-Ling Wang⁶, and Li-Hung Lin¹

¹Department of Geosciences, National Taiwan University, Taipei, Taiwan

²Geophysical Laboratory, Carnegie Institute of Washington, Washington DC 20015, USA

³Department of Earth, Planetary and Space Sciences, University of California Los Angeles, USA

⁴Institut de Physique du Globe de Paris, Paris 75005, France

⁵Department of Oceanography, National Sun Yat-sen University, Kaohsiung Taiwan

⁶Institute of Oceanography, National Taiwan University, Taipei, Taiwan

甲烷是天然氣的主要成分，同樣也是石油系統常見的伴生氣體，解析其形成機制與條件，有助於推論油氣儲庫規模與遷移路徑。近年來，質譜分析技術快速的進展，得以高精度測量兩種稀有同位素雙重取代的甲烷分子 ($^{13}\text{CH}_3\text{D}$ 和 $^{12}\text{CH}_2\text{D}_2$) 豐度，並進而用於估計甲烷的形成溫度。這樣的地質溫度計，克服了過去需要不同共存相 (例如水與氣) 同位素組成方法的缺點，從而有機會檢查甲烷形成溫度估算的可信度或動力學的機制，以解析甲烷的來源與形成環境。

本研究旨在分析分佈於台灣西南部的旗山斷層、觸口斷層、古亭坑背斜、海岸平原及海岸山脈泥火山各類氣體及流體的同位素標記，包括兩種甲烷叢集同位素成分 ($\Delta^{13}\text{CH}_3\text{D}$ 和 $\Delta^{12}\text{CH}_2\text{D}_2$)、甲烷碳與氫同位素成分 ($\delta^{13}\text{C}_{\text{CH}_4}$ 和 $\delta\text{D}_{\text{CH}_4}$)、二氧化碳碳同位素成分 ($\delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_2}$)、溶解無機碳同位素成分 ($\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$)、流體的氫與氧同位素成分 ($\delta\text{D}_{\text{H}_2\text{O}}$ 和 $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$) 和 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 同位素組成，以解析台灣破碎地質特徵的甲烷成因。分析結果顯示 $\Delta^{13}\text{CH}_3\text{D}$ 和 $\Delta^{12}\text{CH}_2\text{D}_2$ 值分別介於 1.9 和 7.8‰ 以及 3.0 和 19.9‰ 之間。一部分樣品的特徵值落在甲烷的溫度平衡線劃定的範圍內，地質溫度估算指示甲烷形成溫度在 99~260°C 之間。這些溫度估計連同甲烷碳與氫同位素組成，指示甲烷是在 2-11 公里深經由熱分解作用形成。其他樣品的數值不等程度偏離甲烷的溫度平衡線，考慮到部分採樣點檢測到的產甲烷菌與其地質架構，這些氣體同位素成分很可能代表微生物與熱裂解源的混合物，藉由兩個甲烷叢集同位素與甲烷碳與氫同位素成分四個同位素雙端元混合模型能提供更可靠的約束性；綠島和羅山具備地函源的 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 同位素組成，可能代表非生物甲烷；另外有四個採樣點同樣具備地函源訊號，但有不同成因的甲烷。另外，基於 $\Delta^{13}\text{CH}_3\text{D}$ 和 $\Delta^{12}\text{CH}_2\text{D}_2$ 值，計算新養女湖泥火山時序上的甲烷形成溫度，由 2016 年的 $141 \pm 22^\circ\text{C}$ (Rumble 等人, 2018) 到 2017 年的 $236 \pm 37^\circ\text{C}$ 不等，顯示氣體的通道在不同時間呈現動態變化，傳輸 7-11 公里深之間不同儲庫中的甲烷至地表。綜合這些結果顯示，在活動造山帶中因斷層位

口頭論文宣讀

中華民國地球物理學會與中華民國地質學會112年暨學術研討會 M5-0-17
M5 - OBTAIN-ucc: OBservatory for Terra-Aqua Interactions under climate changes
氣候變遷下的陸海交互作用觀測

移與變形造成的破碎地層，甲烷和其他氣體源自於多深度與成因之儲庫，受構造強烈控制造成的通道聯通或閉合，遷移至淺部並混合，最終排放至大氣，呈現多源且動態變化的氣體特徵。

Keywords: 甲烷同位素雙重取代分子 (methane isotopologue) ; 泥火山 (mud volcano) ; 活動構造 (active tectonics)

利用反射震測與大地電磁法調查濁水溪扇洲地質盆地架構**Constructing a Quaternary stratigraphic framework of Choushui river alluvial fan delta by seismic reflection and magnetotelluric surveys**

陳珏縈、黃俊銘、郭陳濤、游能悌、顏君毅、陳俊榕

雲彰地區由於長年超抽地下水問題，現為臺灣地層下陷最嚴重的區域。政府單位透過多元整合觀測技術，結合不同空間及時間尺度的資料，對於整個雲彰地區的地層下陷狀況進行監測，藉此了解地下水位變化。除此之外，政府也在民國 100 年核定「雲彰地區長期地層下陷具體解決方案」，實施封井與減少地下水抽取的政策。目前累積的觀測資料顯示，雲彰區域的下陷量雖比過往二十前來減少許多，但在褒忠、土庫及元長區域每年仍有數公分的沉陷量。此外，從地表與井下的監測資料對比，發現除了淺層幾百公尺內的下陷量外，部分地區有原因未明的深層沉陷行為。沉陷中心座落在濁水溪沖積扇的扇央範圍，然而此區域的水文地質理解僅限 300-400 公尺以上的部分，目前僅有稀少的鑽井資料且深度有限，以及少數百公尺等級的地電阻剖面，對於地層構造與岩盤深度了解相當侷限。因此，本研究使用 20 公里的長距離反射震測與大地電磁的地球物理探勘技術，透過震測提供展距寬且連續的深層資訊，以及大地電磁頻寬大且穿透力強等特性，藉此架構出濁水溪沖積扇區域 2 公里深的高解析度構造形貌，進一步釐清深層地層下陷的原因。從大地電磁所反演出的模型結果中，淺層部分由低電阻的泥質地層所構成，接續為相對電阻率高的砂岩層，而岩性較緻密的基盤面約在近 2 公里深的位置。此結果與反射震測剖面可相互解釋，比對中油的褒忠一號鑽井資料，剖面深度 1 公里以上屬於未固結的岩層，接續變成較為堅硬的岩層。剖面近兩公里深的強反射面，可對應到鑽井資料的中生代基盤面位置，以下為堅硬緻密，孔隙率及滲透率甚低的岩層。此外，在大地電磁結果中深部有一高電阻區塊，其與震測剖面深部強反射面上，有一區域有些破碎且層面稍微凸起的位置相近，推測其構造可能與深層沉陷行為有所關聯。透過以上研究成果，可以提供更多深部地層的連續資訊，使我們可建構出扇洲地質盆地的構造，不僅是補足水資源管理中的重要資訊，更對於雲彰地區的水資源開源與節流有所助益。

Keywords

地層下陷, 濁水溪沖積扇, 反射震測, 大地電磁, 地質盆地架構, 水文地質模式
Land subsidence, Choushui River alluvial fan, seismic reflection, Magnetotelluric, stratigraphic framework, hydrogeological model

系統性立體國土數位資訊之建立與保存

劉雅瑄¹、蘇志杰²、黃致展²、謝志豪²、郭陳濤¹、張文彥³、楊汶達¹、李安昇¹

(1) 國立臺灣大學地質科學系暨研究所

(2) 國立臺灣大學海洋研究所

(3) 國立東華大學自然資源與環境學系

因應全球對於氣候變遷的關注，諸多政策甚或是商業資金開始注入淨零排碳的技術領域，目前台灣應用場域裡，主要著重於地熱資源以及地質碳封存場址的探勘與開發，而該發展項目尤以立體國土數位資訊為基底，因此本計畫著力於建立地質岩心庫與資料庫，有完整的資料收集才能有有效的調查評估結果。

計畫籌建之岩心庫預計將於台大竹北校區使用占地約 2000 坪土地，目標建立具系統性收集、永續性保存與取用岩心之基地，量能從單一研究計畫所鑽取之岩心規模提升至國家級整合性取樣規模，初步目標為收存每年 1 公里之岩心長度。同時規劃建置地球化學、物理量測實驗室以數位化分析、保存岩心樣本，目前已購置多重感應元岩心掃描儀 (MSCL) 以及電腦斷層掃描儀 (CT) 供高解析度測量。

除硬體部分外，建立能夠有效率管理此大型規模樣本的軟體系統亦相當重要，該系統需具有連結樣本與多元量測資料之功能，將岩心庫延伸至國土資訊資料庫之規模，藉此提升內外部資料索取與整合之便利性，未來導入資料科學技術進行自動化之分類、辨識與應用，將整合地球科學各領域的需求以優化國土資訊，提供產、官、學界所需，提升研究資源綜效。

目前計畫正與美國、日本、德國等大型岩心庫、資料中心洽談合作，預計以國家高速網路與計算中心做為資料儲存、系統運行之基地，導入國外系統並依實際需求調整開發，完成岩心庫管理以及資料庫之建置。未來展望能夠納入多元地質材料而不局限於岩心，利用國土數位資訊中心為研究量能基礎，穩健發展淨零排放技術。

岩芯數位化之利器 – 電腦斷層掃描

黃致展^{1,2}、劉雅瑄^{2,3}、吳妍希¹、劉曜鳴¹、林均庭¹、張瑜峻¹、Gerald Degenhart⁴

¹臺灣大學海洋研究所

²臺灣大學新碳勘研究中心

³臺灣大學地質科學系

⁴Medical University of Innsbruck

在 2050 淨零碳排的目標之下，舉凡碳封存、地熱開發、風場架設乃至放射性廢棄物儲存場址，都需透過地下和 underwater 岩芯的分析結果，驗證各類地物探勘獲得的資料，以期掌握精確的地下地質特性。其中，如何透過非破壞性的手段以獲取岩芯內部三維的結構與組成特徵並進行數位化保存和後續之對比基礎，實為瞭解潛在場址特性的關鍵。

電腦斷層掃描 (Computed Tomography, CT) 是利用多角度的 X 光穿過待測物體，由於不同物質對 X 光的吸收能力不同，故可利用電腦的運算能力重建多角度的測量結果以產生斷層面影像 (tomographic images)，並提供其內部結構三維和定量的資訊。此技術自 1970 年代問世以來，其解析度已由毫米級的醫用 CT (medical CT)，視樣本的大小和需求進展到微米甚至奈米 CT (μ -CT/nano-CT)，其高解析度及非破壞性的特性，在醫療、學術、工程或是工業界皆被廣泛使用。電腦斷層掃描於岩芯的分析乃自數位典藏 (digital archive) 也扮演無法取代的關鍵特色。岩芯的表面與內部特徵，包含層理、沉積構造、自然與人為之裂隙分布、膠結物分布、顆粒與密度變化、孔隙率、滲透率、孔隙連通度等，皆可以透過這樣非破壞性的分析成果進行探討。臺大新碳勘中心聯合海洋研究所與地質科學系，在眾多校內外單位的資助下，已建立臺灣首間專供岩芯使用之電腦斷層掃描實驗室，目前正在進行樣本測試及流程最佳化，未來將可提供各種尺寸之岩芯，以全管方式進行高解析度的 CT 掃描，解析岩芯三維的結構與組成特徵。其產出資料可搭配其他掃描儀 (例如多重感測岩芯記錄儀, MSCL; X 光螢光分析岩芯掃描儀, XRF core scanner)，進而產生高品質與高解析度的岩芯物理與化學特徵，提供不同觀測手段獲取資料間的交互驗證，進而獲取高精度地下地質之整合資料。

Variations in microbial utilization of organic compounds across a tectonic transition in the South China Sea

En-Ju Lin¹、Tzu-Hsuan Tu¹、Jhen-Nien Chen²、Pei-Ling Wang³、Li-Hung Lin²

(1) Department of Oceanography, National Sun Yat-sen University、(2) Department of Geoscience, National Taiwan University、(3) Institute of Oceanography, National Taiwan University

Abstract

Methane hydrates are widely distributed in the South China Sea (SCS) and the tectonic transition in this area may affect the origin of methane in marine sediments. Because the communities in passive (FR) and active (FWCR) were shifted and diversified during burial processes, we hypothesized that microbial differentiation in marine sediments from FWCR and FR would impact organic matter utilization and the origin of methane. We conducted incubations with ¹³C-labelled methanol, methylamine, acetate, and glucose with slurries from three depth intervals (5, 50, and 120 mbsf) sampled from both sites to reveal connections between community structures and potential metabolic pathways. We found that methyl-based methanogenesis occurred only in incubations from 5 mbsf in FR, which had an increased proportion of *Methanococcooides* spp. In contrast, newly produced methane was not detected in other incubations, and we inferred that fermentation was the primary process consuming methyl compounds due to the accumulation of ¹³CO₂. Methyl compounds were also assimilated and accumulated in microbial biomass at rates ranging from 7.9×10^{-5} to 2.1×10^{-2} mg C/day and 2.9×10^{-4} to 3.3×10^{-4} mg C/day in incubations from FR and FWCR, respectively. In acetate and glucose incubations, heterotrophs were the dominantly enriched groups at both sites and depths. Our results demonstrate that variable microbial communities between tectonic settings affect degradation rates and metabolic pathways of organic matter in marine sediments. In situ methanogenesis is a source of methane in the passive margin, while the active margin may rely on thermogenic methane from the deep reservoir.

Two-stage oxidation of petrogenic organic carbon in a rapidly exhumed mountainous river catchment

Wan-Yin Lien¹, Li-Hung Lin¹, Pei-Ling Wang², and Chih-Tung Chen³

(1) Department of Geosciences, National Taiwan University、(2) Institute of Oceanography, National Taiwan University、(3) Department of Earth Sciences, National Central University

Abstract

Petrogenic organic carbon (OC_{petro}) has conventionally been regarded as a non-degradable entity, and therefore excluded from the carbon cycle. The perception might be even more widely accepted for an active orogen where rapid uplift facilitates the efficient burial of OC_{petro} in the depocenter. In this study, we aimed to test this perception by examining the maturity and geochemical characteristics of OC_{petro} from various compartments in Beinan catchment and its downstream submarine canyon. The degrees of graphitization of OC_{petro} in weathered materials were lower than those in parent rocks, with more disordered (low crystallinity) OC_{petro} coupled with higher radiocarbon activities (younger); whereas the maturities of river sediments were within the range of parent rocks. For marine sediments, the abundance of highly graphitized OC_{petro} increased with travel distance from the estuary. The Raman results combined with compositional data of organic matters suggest that OC_{petro} may have experienced two-stage oxidation. The first stage involves the production of disordered OC_{petro} through in-situ alteration, potentially aided by the so-called priming effect. Once eroded into the river channel, the mixture of disordered and highly graphitized OC_{petro} appears to be barely affected by fluvial processes, but experiences preferential oxidation during marine transit. Based on OC contents and radiocarbon activities, the OC_{petro} -derived CO_2 emission flux is estimated to range around 30-60 tC/km²-yr, which surpasses the fluxes for Amazon River (~0.18 tC/km²-yr) and Mackenzie River (<1 tC/km²-yr) by at least one order of magnitude. Overall, the rapid transformation and selective oxidation of OC_{petro} along the short hillslope-river-submarine routing enables enormous CO_2 emissions, highlighting the importance of integral investigation into detailed OC_{petro} oxidation from source to sink in small mountainous catchments in tectonically active context.

臺灣東部卑南溪河系之碳收支、轉變與傳輸

Carbon budget, transformation, transportation in the Beinan river system,
eastern Taiwan李芸瑄¹、鄭雅方²、蘇志杰²、林立虹¹、王珮玲²¹ 國立臺灣大學地質科學系² 國立臺灣大學海洋研究所

高山型河川系統中有機碳從陸地到海洋的傳輸及其過程中的變化，對全球碳循環是至關重要，本研究分析臺灣東部卑南河流域及其出海口外海洋沈積物之元素含量與有機碳同位素等特徵，以探討有機顆粒的起源及其從陸地到海洋的轉變，同時也觀測流域中溶解有機碳的時空變化，解析不同形式有機碳之間的關聯性與整體傳輸之相對貢獻。根據較低的碳氮比值以及較高的有機碳同位素值，可推測卑南河流域的顆粒態有機碳以岩石作為主要來源，而進一步的檢視顯示出每個採樣點的懸浮顆粒相較於底泥皆含有較高的有機碳含量、碳氮比值及較低的有機碳同位素值，且上游的顆粒有機碳的碳同位素值比下游低，這些結果說明在懸浮顆粒或上游的顆粒態物質中，新鮮的生物或土壤來源的有機碳貢獻較大。此外，相較於雨量少的時期，在雨量豐沛時期於出海口附近的沈積物收集器所收集到的沈積物擁有較低的總氮與有機碳含量、碳氮比值、放射性碳活度及較高的有機碳同位素值，相比之下，雨量多寡對於離出海口較遠的沈積物收集器所收集到的沈積物的元素含量、有機碳同位素值與放射性碳活度都沒有造成變化。卑南溪口外海淺層沈積物與卑南溪下游沈積物的地球化學特徵相似，皆表明在雨量豐沛時期，卑南溪所輸出的岩石源顆粒態有機碳的貢獻較大。卑南河流域中溶解有機碳濃度整體偏低，遠低於全球平均值，也低於台灣西部河川，總傳輸量也遠不及顆粒有機碳，溶解有機碳濃度在河域上游與懸浮顆粒濃度有正相關，在下游則與溫度有正相關，並且顯示受到極端降雨事件影響的差異性特徵，溶解有機碳在降水事件中大量輸出，且濃度與懸浮顆粒濃度高度正相關，但在總有機碳輸出中所佔比例明顯下降。整體而言，卑南溪系統顯示了在造山帶河流中岩石源顆粒有機碳沿著河海連續系統的快速搬運及埋藏，溶解有機碳則相對貢獻小，氣候與水文條件對於傳輸量的調節亦具有重要影響，台灣東部的高山型河川雖然能夠輸出許多有機碳，但其埋藏對於大氣中二氧化碳淨消耗的貢獻是微不足道的。

關鍵字：卑南溪、高山型河川、有機碳、碳同位素

Keywords: Beinan river, mountainous river, organic carbon, carbon isotope

臺灣西南部泥岩區的快速變形對國家建設有何影響？如何因應？

How does the rapid deformation of the mudstone area in southwestern Taiwan affect the major national infrastructures? What are our adaptive strategies?

饒瑞鈞¹，景國恩²，黃雋彥³，謝銘哲⁴，鄭皓騰⁵

¹ 國立成功大學地球科學系

² 國立成功大學測量及空間資訊學系

³ 國家地震工程研究中心

⁴ 國立中央大學地震災害鏈風險評估及管理研究中心

⁵ 國立成功大學都市計劃學系

臺灣除了地震頻繁外，西南部泥岩區的無震快速變形區域，在近期國家發展需求而需共生之境況下，此無震快速變形特性形成一個新型態的地質災害。根據過去近 20 多年來的大地測量及地球物理相關研究成果，臺灣西南部泥岩區之斷層與泥岩構造，在跨斷層或於泥岩構造上具備有變形速率不一之特徵：速率快者，垂直位移速率可達 80 mm/yr，水平位移速率為 60 mm/yr (如位於旗山及車瓜林斷層區域之中寮隧道)；變形速率稍慢者亦有垂直抬升速率 11 mm/yr，水平位移速率為 12 mm/yr 之台南台地。再者，當臺灣地區發生顯著地震時，震波傳遞至泥岩區之能量更讓泥岩構造或斷層產生加速的變形及位移，且造成地表震動放大的現象(如 2016 年美濃地震)。長久以來，臺灣西南部泥岩區多為低度開發區域，惟公共建設：如高鐵、公路及橋樑，和產業園區開發的強烈需求，驅使我們需要加速相關之地震災害和地表變形敏感度分析，以及對這些問題之討論及研擬相關因應對策。由於此等新型態的災害形式，其相關變形特性、地震動特徵及景況模擬，都不是現有之地震災害評估之對象或目標，如何因應此等新型態的災害形式，進而提出解決方案和對策，是我們大家需要努力的目標。

臺灣西南部泥岩區，無震快速變形，公共建設，新型態的地質災害

Mudstone area in southwestern Taiwan, aseismic rapid deformation, public infrastructure, a new type of geological hazard

泥岩作用對南科橋頭與楠梓園區之地表變形研究

景國恩¹、陳松春²、張午龍³、盧志恒⁴、羅祐宗³、饒瑞鈞⁵、郭昱廷⁶、
蕭詩涵¹、蔡佩京¹、陳建良²

(1)國立成功大學測量及空間資訊學系、(2)經濟部中央地質調查所、(3)國立中央大學
地球科學學系、(4)中央研究院環境變遷研究中心、(5)國立成功大學地球科學系、(6)
國立中正大學地球與環境科學系

摘要

由於本研究地區同時具有泥體變形及潛移斷層等地質作用，為了釐清橋頭園區與楠梓園區一帶之地表變形特徵與地震災害特性，本研究首先收集與計算臺灣西南部地區151個GNSS連續站資料、289個中央地質調查所GNSS移動站資料、7條中央地質調查所水準觀測資料與合成孔徑雷達干涉技術之地表變形測量成果。接著，本研究利用速度反演法，在考慮潛移斷層的作用下整合上述所有測量資料，架構橋頭園區與楠梓園區一帶高空間解析力之三維速度場模型。三維速度場分析成果指出，(1)車瓜林斷層與右昌斷層皆為右移斷層且相互連接，但是兩斷層連接處會被鳳山左移斷層所截切。這三條斷層主要呈潛移的活動型態，且斷層滑移速率約在10-15 mm/yr間。(2)滾水坪泥火山與漂底山泥火山間存在一條疑似右移的東西向鎖定斷層，在橋頭園區一帶與車瓜林斷層相連。(3)中洲背斜在2016年美濃地震後有明顯的抬升發生。根據比對抬升速率與地形特徵的分布型態，本研究更精確的描繪出中洲背斜的位置。(4)水平速度場與垂直速度場的分布型態並不一致，且垂直速度場的抬升分布型態幾乎皆沿著過去已知的背斜軸在延伸，顯示這些背斜軸的發育並非和活動斷層有直接關係。藉由比對殘餘重力正異常與泥岩基盤的分布型態，本研究建議西南部之背斜軸活動和泥貫入體的運動有關。(5)由於2016年美濃地震前，中洲背斜之垂直運動量並不顯著，顯示泥貫入體的活動性相當容易受到顯著地震的影響。未來本研究將嘗試利用水平與垂直速度場之型態差異，建立辨識泥體變形影響區域與範圍之方法，再透過地質調查之比對確認判釋成果之可靠度。此外，本研究也將持續釐清這些潛移斷層是否具有孕震能力。

燕巢地區泥貫入體特徵

*陳松春¹、陳聖元¹、景國恩²

1.經濟部中央地質調查所、2.國立成功大學及測量空間資訊學系

摘要

西南海域高屏斜陸坡區有廣泛的泥貫入體(Mud diapir)分布，在海域形成地形高區，例如枋寮海脊，以及小琉球為出露海平面的泥貫入體構造，西南陸地有許多背斜構造，這些背斜構造早在中油公司先進1970年代研究指出是泥貫入體，並非典型的背斜構造，然而陸地泥貫入體的存在一直有爭議，但從大地變形觀測結果，卻無法以傳統斷層活動模式來解釋，南二高中寮隧道在旗山斷層下盤快速抬升及北側的田寮高架橋側向位移，是已證實因泥貫入體快速抬升所造成的案例，但泥貫入體和周圍斷層的交互作用，還需要去進一步研究釐清。

本研究區為在燕巢地區，地調所調查指出車瓜林斷層從燕巢國中往西南經過橋頭科學園區(簡稱，橋科)滾水坪泥火山北側，持續往西南延伸，調查研究區主要是為在車瓜林斷層上盤，以橋頭科學園區(簡稱，橋科)為中心點，從東北的燕巢活動中心、工廠廠房、高鐵燕巢段、橋科南側的高雄科技大學燕巢校區(簡稱，高科大)、西南側的中崎社區、南至橋頭糖廠等地區進行地質勘察及資料收集，進行泥貫入體調查研究。調查結果發現都有建物抬升破壞情形，在中鋼構公司除建物明顯抬升破壞外，北側道路還發現呈背斜拱起，造成擋土牆破裂、人行道地磚、路燈抬升破壞等、慈濟宮抬升、以及高科大校園建物抬升破壞相當嚴重，中崎社區關聖宮及附近民宅也都有抬升破壞情形，另外，在橋頭糖廠發現右移斷層，是否為車瓜林斷層，有待後續研究。資料收集分析，在高鐵燕巢段的抬升，最大抬升量位於車瓜林斷層南側(上盤)約260 m處，顯示並非主要是因車瓜林斷層因素；另外在橋科從滾水坪泥火山往西南到中山高的地形呈現高區，鑽探剖面顯示滾水坪泥火山南北側的泥岩基盤深度落差至少50 m以上，有可能是泥貫入體抬升所造成的基盤落差。

綜整目前調查研究成果，車瓜林斷層上盤(南側)快速抬升的區域應是泥貫入體，目前可從燕巢活動中心向西南追蹤到中崎社區附近，包含高科大校區在內(高速公路東側)。

關鍵詞：泥貫入體、燕巢、橋頭科學園區、車瓜林斷層

Scenario ground motion and coseismic displacements inferred from interseismic velocity fields: case study in SW Taiwan

Shih-Han Hsiao¹, Kuo-En Ching^{1*}, Wu-Lung Chang², Yi-Jui Lee³, Yin-Tung Yen³, Chun-Te
Chen³

(1) Department of Geomatics, National Cheng Kung University (2) Department of Earth Science, National
Central University (3) Sinotech Engineering Consultants, Inc., Taiwan

*jingkuen@mail.ncku.edu.tw

Abstract

The earthquake potential and hazard maps of seismogenic faults could be estimated through the interseismic velocity fields derived from geodetic data. However, the geodetic surface deformation may be dominated not only by the seimogenic faults but also by other sources. So, (1) whether the deformation is mainly caused by seismogenic faults? (2) How to evaluate the contribution from other factors? (3) Whether the seismic hazard assessment could be improved by geodetic data? To clarify these problems, 151 continuous GNSS stations, 289 campaign-mode GNSS stations and 7 precise leveling routes in SW Taiwan maintained by the Central Geological Survey of Taiwan are collected. The GNSS data were processed by GipsyX and the horizontal and vertical velocity fields from 2002 to 2021 are estimated through coordinate time series analysis. In SW Taiwan, the patterns of horizontal and vertical velocities cannot be explained by the fault dislocation model. It implies that there should be other structures to affect the surface deformation here besides active faults. Consequently, an opening-mode dislocation is also involved in the 2D fault dislocation model for modeling the velocity profiles. The optimize locations of opening-mode dislocations generally match the anticlines in SW Taiwan, which imply the growth of mud diapirs. Then, the optimal fault geometry parameters derived from 2D fault model are adopted in 3D fault model, Baseline Inversion, to calculate the distribution of slip deficit rates on the seismogenic faults. The distribution of slip deficit rates represents the coupled fault patches (asperities) where the energy accumulated on during the interseismic period. Therefore, the update of scenario ground motions in SW Taiwan can be predicted by GMPEs with the asperities derived from our 3D fault model. Furthermore, the scenario coseismic displacements is also estimated by using the 3D dislocation model to provide more information of the seismic hazard in SW Taiwan.

結合密集地震儀陣列和短周期數據對高度破裂的台灣西南部麓山帶體波速度構造成像**Combining Dense Seismic Array and Short-Period Data to Imaging the Body Wave Velocity Structure in the Highly Fractured Western Foothills of Southwestern Taiwan**

Strong Wen¹, Ying-Nien Chen¹, Chun-Fu Liao¹, Yi-Ying Wen¹, Wei-Hau Wang¹, Yu-Lien Yeh¹, Yu-Chih Huang², Yi Zen Chang²,

1. Department of Earth and Environmental Sciences, National Chung Cheng University; 168, University Rd., Min-Hsiung, Chia-Yi 62102, Taiwan
2. National Center for Research on Earthquake Engineering, 200, Sec. 3, HsinHai Rd., Taipei 10668, taiwan

Abstract

Influenced by geographical environment and topographical characteristics, southwestern Taiwan has suffered from the impact of two major plates over the years, and has been constantly threatened by earthquake disasters. Historical strong earthquakes in this area often cause serious damage. In particular, the region is mostly soft alluvial plains. Economic construction and dense population make the area have a high potential for earthquake hazards. Therefore, it is necessary and important to understand the seismogenic structures in southwestern Taiwan. Due to the insufficient observation density of current seismic network, non-volcanic tremors along faults are difficult to be detected by remote stations, and the shallow velocity structure is weakly constrained. As a result, the uncertainty of earthquake location is large, and the geometry of faults cannot be determined, especially in the Western Foothills zone. Without a dense seismic array, traditional methods are difficult to reconstruct the real 3D velocity structure. Therefore, this study carried out precise microseismic surveys on important active faults in southwestern Taiwan and their surrounding areas. In southwestern Taiwan, most faulting occurs in the upper crust at a depth of about 5 to 15 km. Collectively, they form a complex structural junction and reflect subsurface heterogeneities that must alter the dominant stress field to generate local structural irregularities. Therefore, this study will analyze the microseismic source distribution and tomographic imaging from the dense seismic network, explore the seismogenic models of multiple active structures in southwestern Taiwan and adjacent areas, and provide a complete outline of the seismogenic structures around the fault. The results obtained in this study can also be used as the basic data for seismic hazard assessment to explore the crustal deformation and seismic tectonic features of the southwest orogenic belt front.

Keywords: dense seismic array, 3D tomography model, seismogenic zones, seismic hazard assessment, southwestern Taiwan.

關鍵詞：密集地震儀陣列、三維層析成像模型、孕震帶、地震危險性評估、台灣西南部。

Multi-mode surface wave tomography using array interferometry: a case study in SW Taiwan

Ying-Nien Chen¹, Chun-Fu Liao¹, Strong Wen¹, Huey-Chu Huang¹, Wei-Hau Wang¹ and Yu-Chih Huang

- (1) Department of Earth and Environmental Sciences, National Chung Cheng University
- (2) National Center for Research on Earthquake Engineering

Abstract

In the past decade, retrieving empirical Green functions (EGF) between stations by cross-correlating ambient seismic field has become a well-developed technique for its operational simplicity and various advantages over traditional surface wave tomography. Recently, improving the resolution of passive imaging from massive deployments of cheap and easy-to-install geophone nodes has been a popular strategy. However, we notice that standard ambient noise tomography can get computationally intensive for large-N seismic arrays. In addition, the long-period phase velocity measurement is sensitive to the distribution of noise sources and is limited by three-wavelength criteria. Thus, this could be an important issue for noise tomography in a small aperture array. In this study, we invent a beamforming-based approach to evaluating the travel time fields for the detected surface waves traveling across a geophone-based array in SW Taiwan. The resulting beamforming also provides strong evidence for the complexity of wave propagation in Taiwan. Based on the Eikonal equation, we derive multi-mode surface wave phase velocity maps from the gradient of these travel time fields.

Bouguer gravity anomalies and the three-dimensional density structure of a thick
mudstone area: A case study of southwestern Taiwan

Abstract

Gravity surveying is one of the best methods to deduce the subsurface structures in areas covered by thick mudstone in southwestern Taiwan where seismic data analysis is limited. We obtained regional and residual gravity anomalies from the Bouguer anomaly map using the wavelength filtering method to image the gravitational effects of subsurface sources at different depths. The distribution of the residual gravity anomalies corresponds well with the locations of faults and anticlines. Through the change of residual gravity anomalies due to sources at different depth, we estimated the inclination and extension of the anomalous bodies at different depths. Then, the three-dimensional density structure was inferred from inversion of the gravity data to reveal the distribution of mud diapirs and changes of depth to the basement. The positive residual gravity anomalies of approximately 1-2 mGal indicate that the material density of the diapirs is 0.1-0.2 g/cm³ higher than the surrounding rock. The origin of positive residual gravity anomalies can be roughly divided into three types corresponding to the possible subsurface structures. The depth of the positive gravity anomaly below the major anticlines is approximately 4-5 km, corresponding to the bottom of the mudstone formation, from which the mud diapirs may originate. The residual gravity anomaly pattern also indicates a connection of the Chegualin and Youchang faults and the nearly vertical Zuochen fault above 10 km depth. Finally, the low gravity in the Pingtung Plain results from the high-density contrasts on both sides of the two major faults and the deepening of the basement in the plain. The high-angle Chaouchou fault, one of two major faults, was also identified at shallow depths based on analysis of the gravity data.

Holocene kinematics and geometry of a reverse strike-slip fault revealed by geomorphology and near-surface observations at the Gunshuiping mud volcano site, southwestern Taiwan

Ngoc-Thao Nguyen¹、Maryline Le Beon^{1,2}、Neng-Wei Huang³、Chuan Ding⁴、
Kuo-En Ching⁵

(1) Graduate Institute of Applied Geology, National Central University、(2) E-DREAM Research Center, National Central University、(3) Department of Earth Sciences, National Central University、(4) SINO Geotechnology, SINO Geotechnology, INC、(5) Department of Geomatics, National Cheng Kung University

Abstract

In southwestern Taiwan, geodetic data suggest the existence of a southwest striking right-lateral fault in the Holocene Coastal Plain. This inferred fault is highlighted by a topographic scarp and the presence of the Gunshuiping mud volcano. The mud volcano displays a dome-shaped topography, 1-km in diameter, cut and offset by the inferred fault. This leads us to investigate the Holocene kinematics and geometry of this inferred fault for the purpose of seismic hazard assessment. We constrain the deformation of buried Holocene strata using 19 shallow boreholes, ¹⁴C dating, U-Th dating and Resistivity Image Profiling data for stratigraphic correlation across and along the inferred fault. The fault-perpendicular cross-sections show that the bedrock unit and Holocene strata have been uplifting on the southeast block along a fault dipping 70°SE. The cores allow to identify a distinctive sandy layer, dated 4.7 ka and that appears sub-horizontally in fault-parallel sections, in contrast to the dome-shaped topography. The cores close to the mud volcano mouths show mud dikes in this 4.7 ka layer and several mud flows within the overlying layer, which base was dated 4.1 ka. This implies that the dome-shaped topography results from accumulated mud flows at the surface that migrated through fractures caused by fault activity and/or fluid overpressure. In parallel, we use the morphology of the mud volcano to estimate the right-lateral offset accumulated since 4.1 ka or less. We estimated a minimum horizontal fault slip rate of 13.2 ± 1.6 mm/yr since 4.1 ka, which is compatible with the horizontal gradient of 15 mm/yr from GPS during 2015-2018. Using the vertical offset of distinct layers across the fault leads to a vertical fault slip rate of 4.2 ± 1.8 mm/yr since 10 ka. While GPS observations suggest that the fault is at

least partially creeping, the presence of Holocene growth strata at our study area raises the possibility that earthquakes occurred during the Holocene.

Keywords: Active tectonics, fault slip rates, mud volcanoes, Gutingkeng formation, Holocene

Structural analysis in the actively deforming Erhjen River Basin, southwestern Taiwan

Hassan Aleem¹、Maryline Le Beon^{1,2}、

(1)Graduate Institute of Applied Geology, National Central University
(2)Earthquake Disaster & Risk Evaluation and Management Research Center (E-DREaM), NCU

Abstract

The Erhjen River Basin is an actively deforming basin located in southwestern Taiwan. It is occupied by late Miocene to early Pleistocene Gutingkeng Mudstone (Gtk) which is >4000m thick. Major faults located in the Erhjen River Basin include the reverse Lungchuan Fault, Gutingkeng Fault and Hsiaokangshan Fault, which all dip to the east. Geophysical data in the coastal plain reveals folded structures including the Chungchou Anticline. Based on geodetic data, the midstream of the Erhjen River Basin is absorbing compression at a rate of ~30 mm/yr. InSAR, levelling data and Holocene incision rates also indicate a significant uplift. However, it is noteworthy that the high deformation is clustered in the footwall side of the CPC mapped Gutingkeng Fault. Therefore, we aim to investigate this zone of high deformation to understand the structures responsible for the high uplift. Firstly, we drew a geological cross-section using kink method and the concept of shear folding. The data utilized includes four deep boreholes, seismic data, bedding dip and strike and gravity data. Using nanofossil data from this study and previous works, we classified the Gutingkeng Mudstone into three units, the Miocene Gtk, Pliocene Gtk and Pleistocene Gtk. We show that the Mucha Fault, Lungchuan Fault and Gutingkeng Fault lie on a 3-5 km deep detachment. Also, the depth to detachment under the coastal plain would be deeper compared to the detachment under the foothills. Secondly, we conducted a field survey in the highly deforming footwall of the CPC mapped Gutingkeng Fault. We observed a major shear zone oriented 080°/51S° with at least 10s of meters of displacement across it, and we identified it as a reverse fault. We propose that this might be the Gutingkeng Fault or a fault branching from it. In the future, we will conduct more field surveys to better account for the footwall uplift. We will also assess how shale tectonics might be influencing the patterns of deformation in the basin.

Keywords: Cross-section, nannostratigraphy, deformed footwall, shear zone

Fluvial seismology in field experiments: application and challenge

Wei-An Chao^(1,2), Chi-Yao Hung⁽³⁾, Yu-Shiu Chen⁽⁴⁾

(1) Department of Civil Engineering, National Yang Ming Chiao Tung University, Hsinchu, Taiwan

(2) Disaster Prevention and Water Environment Research Center, National Yang Ming Chiao Tung University, Hsinchu, Taiwan

(3) Department of Soil and Water Conservation, National Chung Hsing University, Taichung, Taiwan

(4) Disaster Prevention Research Center, National Cheng Kung University, Tainan, Taiwan

Abstract

Seismic physical models have been proposed to study mechanisms of the debris flow and the river processes, which filled the gap of quantitative observations in practical limitations of direct measurements. However, a lack of direct observations such as the bedload flux in field application cause a challenge for the validation of seismic physical models. In the practical application of sediment impact model, the grain size distribution of mobile particle in riverbed, the impact kinematics (elasticity and velocity) and particle dynamics assumed in models are crucial for achieving high accuracy in bedload inversion. On-site seismic parameters such as the shear-wave velocity (V_s) and the seismic quality factor (Q) are also required to reduce the uncertainty in model prediction. Landao Creek, Huisun Forest is selected as our experimental area. The channel reach considered is 100 m long with a mean slope angle of 6° , and with a gravel bed 20 m width. A total of three geophone arrays were deployed on the riverside, which are parallel and perpendicular to the river channel. Directly measured parameters included the water depth, the channel geometry, the bedload rate (from the bedload slot sampler), camera video during floods. We also conducted a series of Wolman counts (particles sampled every 1m, along a transect) and image-based pebble scan to investigate the grain size distribution of the riverbed surface. An active seismic experiment was adopted to characterize the properties of seismic wave attenuation and propagation. After the several flood experiments were conducted under the artificial controlled supply of water and sediment particle tracer, the aforementioned physical models could be validated. We demonstrated that the indirect measurements using seismic technique might be readily used to quantify river dynamics in both space and time.

Keywords: seismic physical model, Landao Creek, geophone array, bedload flux

Long-period seismic normal modes of the Taipei basin

吳怡萱 Yi-Hsuan Wu¹, 柯俊杰 Jun-Jie Ke², 李明翰 Ming-Han Li², 趙丰 Benjamin F. Chao¹

1. Institute of Earth Sciences, Academia Sinica
2. Department of Geosciences, National Taiwan University

Abstract

The thick alluvium and geomorphics of the Taipei basin trap the ingoing seismic wave and allow resonances in the basin, where the ingoing wave plus the reflected waves at the basin boundaries forms standing waves. Each standing wave corresponds to a normal mode with characteristic frequency (i.e., eigenfrequency) and oscillation pattern (i.e., eigenfunction). The general motion of a system is a superposition of its excited normal modes.

To identify the normal mode, we examined the seismic data of the Formosa Array, a dense broadband seismic network in northern Taiwan. We calculated the product power spectra (PPS) of 13 Formosa Array stations located in the basin area for the month of December 2019 to detect the eigenfrequencies; we found several power peaks at the long periods 20-80s in addition to those occurred at short periods 0.2-0.5s (2-5Hz), 2-5s (0.2-0.5Hz), and 5-7s (0.2-0.14Hz). The comparison of PPS between day time and night time suggested that the signals of periods 0.2-0.5s correlate with human activities and those of 2-5s and 5-7s may be contributed by persistent oceanic or atmospheric perturbations.

In this study, we focused on the modes with long periods. We applied the Frequency Domain Decomposition (FDD) technique to obtain explicit eigenfrequencies and took these eigenfrequencies as reference of filter band so that the Empirical Orthogonal Function (EOF) analysis can be implemented to solve the oscillation pattern. Furthermore, we mapped the standard deviation of the velocity according to the period bands identified by the PPS and the results show significant correlation between the ocean wave and the basin for the periods 2-4s. Combining the maps of the standard deviation of velocity and the EOF maps, we may look into the sources with the long periods and the motions of the normal modes excited by these sources.

Keywords: Normal mode, Formosa Array, Taipei basin, Site effect, Empirical Orthogonal Function analysis, Frequency Domain Decomposition

台北101大樓的自由振盪分析

柯俊杰¹、李明翰¹、趙丰²

(1)國立臺灣大學地質科學系 大學部三年級、(2)中央研究院地球科學所 客座講座

摘要

物理世界中各式各樣的東西都會如同樂器一般進行振動，諸如高山 [Weber *et al.*, 2021]、巨石柱 [Jeffrey *et al.*, 2019; Finnegan *et al.*, 2022] 等。透過一根弦振動的例子可以闡明一個道理：給定邊界條件，會迫使弦產生擁有離散頻率的駐波。這些頻率中也蘊藏著弦（或是任意”樂器”）的幾何構造與材質特性的訊息。台北101大樓也是如此，底下的一端被台北盆地限制住而形成節點，樓的頂端則是自由開放的一端，可以被視為腹點。三維柱體的台北101大樓當然會有比一維的弦更加複雜的振動模式。我們預期能夠找到台北101大樓離散的自由振盪頻率。

我們從台北101大樓內，由中央研究院佈署的Taipei 101 building array (TBA) 中取出 1Hz 及 20Hz 的加速度儀、速度儀及旋轉儀等時序資料（從2000年~2020年），並轉換為頻譜進行分析。除此之外，我們將頻譜相互疊加並正規化，這麼做不只可以提高訊噪比、驗證自由振盪訊號的時間相干性，以及有大量資料可以利用並比對。除了再現前人 [Fan *et al.*, 2009; Chen *et al.*, 2010; Li *et al.*, 2011] 的研究成果外，我們更進一步辨識出週期大約 6 秒（基頻約0.16Hz）的擺盪模式與週期大約 4 秒（基頻約0.24Hz）扭轉模式。在我們更仔細地研究之後發現，這些頻譜還會出現峰分裂、細微的日夜差異和季節性循環等現象，這都與環境條件對振動模式的影響有關。最後，我們也計算不同振動模式的衰減 (Q^{-1})。

關鍵詞：自由振盪、駐波、台北101、共振頻率、振盪模式、衰減

High resolution Vp and Vs imaging for geothermal exploration in the Ilan Plain, northeastern Taiwan by joint inversion of body- and surface-wave data

Po-Li Su, Hsin-Hua Huang, Cheng-Horng Lin, and Jian-Cheng Lee
Institute of Earth Sciences, Academia Sinica

Abstract

The Ilan Plain in northeastern Taiwan shows distributed hot springs with high geothermal gradient in various locations, including the Chingshui, Jiaoxi, Longde-Lize and Hongchailin areas. These sites hold potential for geothermal exploitation and require a thorough investigation to understand their geothermal system. In this study, the seismic velocity images of the Ilan Plain were acquired through the joint inversion of body wave travel times from local earthquakes and Rayleigh wave phase velocities from ambient noise correlations with the 2014 Ilan Texan Array and the Formosa Array. The joint inversion which benefits from the mutual sensitivities of the two data types allows for improved constraints on both shallow and deep structures. In addition, we lift the flat earth surface assumption in the surface wave tomography to avoid possible bias by adapting the surface wave sensitivity kernel to the surface topography. The obtained image at 1-km depth shows low Vp and Vs corresponding to unconsolidated Quaternary sediments toward the coast. The deeper images at 2- to 5-km depths reveal a low-velocity corridor extending from the Guishan volcanic island northeastern offshore to the southwest corner of the Ilan Plain, implying that the heat source of the geothermal systems may be related to the back-arc spreading in the Okinawa Trough. Locally, we find high Vp/Vs ratios in the shallow region of the Chingshui and Jiaoxi areas and the deeper region of the Hongchailin and Longde-Lize areas, indicating a saturated rock with high porosity. An anomaly of low Vp , Vs , and Vp/Vs ratios in the shallow region of the Hongchailin area might signify a vapor-rich high temperature environment. Our results demonstrate the potential of new seismic imaging integrating body- and surface-wave data for geothermal exploration.

Multi-Mode Rayleigh Wave Phase Velocity Inversion of Ambient Noise Tomography across Central Taiwan

Cheng-Nan Liu¹、Fan-Chi Lin¹、Hsin-Hua Huang^{2,3}, Yu Wang³

(1) Department of Geology and Geophysics, University of Utah.、(2) Institute of Earth Sciences, Academia Sinica, Taipei 11529, Taiwan.、(3) Department of Geosciences, National Taiwan University, Taipei 10617, Taiwan Taiwan

Abstract

Taiwan located at the convergence margin of the Eurasian Plate and Philippine Sea Plate is one of the most active orogenic belts worldwide. The vigorous tectonic activities lead to several destructive events on the island. The most devastating inland event occurred on September 21, 1999, the Mw7.7 Chi-Chi earthquake shattered the central Taiwan, which nearly 2000 people were killed. To better understand local geologic structures and regional tectonics for post-seismic evaluation and future hazard mitigation assessment, we perform the ambient noise double beamforming tomography technique on an east-west linear dense seismic array, which cut through the major fault zone from Chi-Chi earthquake and was deployed across central Taiwan as part of the TAIGER project. We use three months of continuous seismic records to calculate vertical-vertical cross-correlations where both fundamental mode and higher mode Rayleigh waves can be clearly observed. We then use double beamforming to determine local phase velocities between 2 and 5 s periods at each beam center location. For each location, we jointly invert fundamental and higher mode phase velocities at each beam center for a 1D shear wave velocity model with a Bayesian-based inversion method. All piecewise continuous 1D models are then used to construct the final 2-D model from surface to ~6 km depth. Our 2-D model reveals structures that are overall consistent with known surface geological features at higher resolution. Near the surface, the model delineates the low-velocity Coastal Plain and the adjacent fast-velocity mountainous areas, with clearer basin geometry consistent with the results of previous geophysical exploration and geological studies. The model also provides new geometrical constraints on major active faults and depth to the basement, which are important to the understanding of orogeny dynamics and regional seismic hazards.

Station Performance of the SALUTE Array and Ambient Noise Characteristics in Southern Taiwan

Ramakrushna Reddy¹, Shu-Huei Hung¹, Yi-Ni Chen¹, SALUTE Team

1. Department of Geosciences, National Taiwan University

SALUTE (Southern Array for the Lithosphere and Uplift of Taiwan Experiment) mainly consists the east-west and north-south transects with a total of 30 closely-spaced broadband stations deployed in southern Taiwan for comprehensively exploring the structure and dynamics of the crust-mantle system at a subduction-collision transition zone. In this study, we evaluate the SALUTE station performance and data quality by carrying out a probabilistic power spectral density (PPSD) analysis. For almost all the stations, the background noise level falls between the new high and low noise models except for TR01 and TR02 located at the western end of the E-W transect whose noise level increases by 10 decibels in the period < 1 s. Spatiotemporal characteristics of ambient noise generated by ocean waves and anthropogenic activities are further investigated by the time-varying PPSDs. At higher frequencies > 1 Hz, the two dominant peaks are observed at around 3 Hz and 14 Hz, most likely induced by traffic noise as evidenced by the semidiurnal and weekly fluctuation and the decrease of the noise from the populated coastal areas toward the uninhabited mountain range (TR09-TR11). The average power of ocean microseism varies between stations, decreasing from west to east. It also reveals the seasonal change to be stronger during winter and weaker during summer. The dominant period observed in the secondary microseism (SM) band is 3.6 s at all the stations across southern Taiwan. The eigen-decomposition of the spectral covariance matrices calculated from the three-component seismic records at each station is employed to characterize the directional distribution of noise sources being primarily predominated in the shallow waters of the Taiwan Strait. Our results offer valuable perspectives on the mechanisms and origins of ambient noise in southern Taiwan, as well as useful guidance for location and installation of seismic stations to minimize its impact on earthquake-generated signals.

Keywords: microseism, ocean waves, traffic noise, SALUTE array, Southern Taiwan

Investigating the spatiotemporal properties of the first higher-mode ambient noise Rayleigh wave in Taiwan

Chun-Fu Liao¹、Ying-Nien Chen¹

(1) Department of Earth and Environmental Sciences, National Chung Cheng University

Abstract

Owing to the everlasting energy exchange between ocean waves and solid earth, microseisms are the dominant signals in seismic records. The consensus is that the fundamental mode surface waves are the most predominant oscillations in microseisms. With array interferometry, numerous studies had reported that body waves and higher-mode surface waves could be generated efficiently under particular weather conditions and geological structures. Over the past decade, the noise study in Taiwan mainly focuses on structure-related research from fundamental mode surface waves. So far, details regarding to higher-mode ambient noise surface waves have never been explored.

This study aims at investigating the spatiotemporal properties of the 1st higher-mode ambient noise Rayleigh wave around Taiwan. Utilizing multicomponent interferometry, we show that the 1st higher-mode and fundamental mode Rayleigh waves could coexist in the frequency band of the short-period secondary microseisms. Based on the spatiotemporal analysis of the interferogram, the amplitude variations of the 1st higher-mode and fundamental mode ambient noise Rayleigh waves are highly correlated with the monsoon system and shallow water environments. Moreover, the amplitude ratio of the 1st higher-mode and fundamental mode Rayleigh waves is closely related to geological structures along the station pair.

離岸風場海域地質調查規劃及執行概況

*陳松春¹、蘇品如¹、林依蓉¹、陳聖元¹、邵屏華¹、許樹坤²、劉家瑄³、許鶴
瀚⁴、蘇志杰⁴、陳信宏⁵

1. 經濟部中央地質調查所、2. 中央大學地球科學學系、3. 台灣大學海洋中心、4. 台灣大學海洋研
究所、5. 中山大學海下科技研究所

摘要

離岸風電為我國重要綠能發展政策，為落實政府友善產業環境政策，經濟部地調所規劃四年期計畫(111 至 114 年)，逐年在臺灣海峽國離岸風場實施我區域尺度海域地質調查。調查項目包含多頻道反射震測、高解析電火花震測、底拖側掃聲納暨底質剖面、沉積岩心採集分析及海床影像等，以及建置地質與環境感知系統。彰濱海域是我國最先期且最重要之風場，已於去年(111 年)完成海域區域地質調查。

彰濱海域在地形上有彰雲沙脊造成的地形高區，地質架構為屬歐亞板塊往西隱沒到菲律賓海板塊所造成的前陸凸起(Forebulge)，因屬張裂環境，理論上會有正斷層發育，也因此，沉積盆地厚度有從西往東逐漸增厚的趨勢。調查結果可發現的地層層序由深到淺為前陸基底不整合面、頭嵙山/卓蘭層邊界、末次冰期不整合面(LGMU, ~14-20 Ka)、最大海漫面、沙脊基底面等。目前調查評估，影響風機的地質安全因子有淺層斷層(深度淺於 120 m)、流體煙囪、沙波飄移、淺層堅硬地層等。因前陸凸起的構造因素，有廣泛的正斷層發育，斷層分布在東側彰雲沙脊有逐漸變淺之趨勢，風機基礎的深度一般淺於 100 m，因此斷層如穿過 LGMU (深度約淺於 120 m)，可視同活動斷層，對風機基礎有潛在的地質安全影響。另在彰雲沙脊及近岸區有發現沙波分布，沙波視波長約 100~1,800 m，視波高約 1~10 m，沙波移動會造成海床變動，加積結果會將近海床監測儀器掩埋，減積會造成基礎埋深不足。流體煙囪，因有大量高壓流體上衝，會造成風機基礎無承载力。彰濱海域位於澎湖群島北側，在調查區南側有發現不均匀分布的玄武岩，堅硬地層會造成風機基礎施工困難。

建置「離岸風電地質與環境感知系統」是本計畫另一重要工項，將地質調查資料及有關離岸風場開發各項環境限制資訊(如航道、民生管線、生態保育區域等)統整在一起，可作為風機廠商及政府風場規劃決策參考。

關鍵詞：離岸風場、沙波、斷層、流體煙囪

建置「離岸風場開發地質與環境感知系統暨資訊供應服務平台」之策

略規劃與展望

Strategic planning and prospect of "Offshore Wind Farm Geological and Environmental Perception System and Information Supply Service Platform"

陳聖元¹、邵屏華¹、陳松春¹、蘇品如¹、林依蓉¹、陳家生²

(1)經濟部中央地質調查所、(2)捷連科技有限公司

摘要

為因應政府綠能發展政策，近年來再生能源如離岸風力發電發展如火如荼，惟規劃離岸風場過程中，受到既有海域地質資料不足，以及由各級主管機關管理之經濟、民生、保育與軍事管制區之限制，致規劃初期面臨開發場址範圍反覆排除更動，無法有效落實規劃，對於離岸風場建置進度影響甚鉅。

鑒於前開困境，中央地質調查所於111年開始進行4年期「離岸風場海域地質調查及地質環境資訊服務」計畫，計畫項下除建構區域尺度的離岸風場海域基礎地質環境資料，更以本離岸風電地質與環境感知系統統整海域地質資料、取得正式授權的離岸風場開發相關各限管區域圖層，作為風機廠商規劃離岸風場場址及尺度工程地質調查之基礎資料及參據。

本系統以專業地質資訊出發，利用雲端演算技術，綜整本計畫施作的海域地質探測成果，整合離岸風場相關之限管圖資，融合介接國家既有海域地質資料及各部門建置之環境資料庫，以落實友善產業環境，吸引廠商投資意願，加速風電政策進展。

112年度為計畫執行第二年度，中央地質調查所前於1月16日發布新聞稿，建置111年度彰濱海域地質調查初步成果於本系統並開放各界查詢，未來將持續精進，以期建立具規劃、管理之離岸風場評估決策支援系統。

關鍵字：離岸風電、海域地質資料、雲端技術

新竹斷層的海域延伸分布與變形前緣位置之探討

林廉凱¹、許樹坤¹

(1)國立中央大學地球科學系

摘要

西部麓山帶有著一系列相當活躍的褶皺與逆衝斷層分布，而新竹位於台灣西部麓山帶最西北側的前緣，1935年曾在新竹發生過規模6.8的大地震，甚至一些較大的餘震是發生在海域，新竹地區因為是高科技產業密集區，對於地震災害影響評估格外重要。變形前緣沿著西部麓山帶前緣分布，在苗栗附近延伸至海域。因此，新竹海域也有褶皺與斷層分布，且影響到在桃竹苗鄰近地區的變形前緣分佈。新竹地區在造山運動開始後，沉積物沿著地底3公里深的滑脫面，以及第三紀前形成的正斷層，往前推擠並往上逆衝形成一系列連續的斷層擴展褶皺(Fault-propagation fold)與高角度逆衝斷層。主要的斷層分佈由南往北有龍港斷層、斗煥坪斷層、新竹斷層、湖口斷層，走向大多為東-西向。本研究收集了5條東北-西南走向，平行海岸線的多頻道火花放電高解析反射震測剖面。研究結果顯示，新竹海域的連續褶皺亦呈現背向傾角較緩，朝向斷層側的傾角較陡的斷層擴展褶皺。兩褶皺之間則為高角度逆衝斷層，共發現3個斷層系列。由南到北分別以F1、F2、F3命名。F1斷層出露至海床，為高角度向南傾的逆衝斷層。若搭配歷史地震的震源機制解釋，可能是逆衝帶右移的形式，推測是陸上龍港斷層的海域延伸。F2斷層系列同樣出露至海床，並沿褶皺構造分布，走向約為北偏東70度，大約與陸上的青草湖背斜相當。根據斷層傾角及走向分布顯示，褶皺構造在板塊碰撞的末端受到擠壓轉換作用(transpression)產生分支的現象。位於最前緣向南傾的高角度逆衝斷層F2b，則可能是新竹斷層的海域延伸。然而，介於龍港斷層以及新竹斷層間的斗煥坪斷層，若沿著相同走向延伸至海域則未發現斷層的蹤跡。F3斷層系列同樣觀察到斷層分支現象，但沒有出露至海床，暗示已不活躍。根據位置推測可能與陸上的湖口斷層相連。綜合以上解釋與過去此區域變形前緣位置之討論，本研究認為變形前緣蹤跡從苗栗向西北方向出海，一直至本研究區西側海域，在新竹海域連接回F2斷層系列及褶皺構造最西緣之位置，再連接回陸上新竹斷層或以北介於湖口斷層之間的位置。

臺灣東北部海域斷層及火山分布調查成果

林依蓉¹、蘇品如¹、陳松春¹、邵屏華¹、王詠綸¹、許鶴瀚²、許樹坤³

(1)經濟部中央地質調查所、(2)國立臺灣大學海洋中心、(3)國立中央大學地球科學系

摘要

經濟部中央地質調查所於105年起推動4年期的「臺灣東北海域礦產資源潛能調查」科技發展計畫(105~108年)，運用國內現有的海域地質調查方法與探測技術，分年擇區於臺灣東北海域南沖繩海槽進行地質調查工作，109年起將調查區域移往北部海域，接續推動4年期「臺灣東北部礦產地質調查」計畫(109~112年)，持續進行海域地質調查並建立臺灣東北部海域基礎地質資料。兩計畫至111年底，共計完成面積約5,550平方公里的多音束水深探測、測線長度約4,083公里的多頻道反射震測探測，及測線長度約1,377公里的底拖側掃聲納暨底質剖面探測等資料。

調查成果顯示南沖繩海槽的張裂中心出露大量東-西向正斷層及噴出火山；張裂中心最東邊，觀察到大量的火成活動，如第四與那國海丘火山群，火山高度達800~900公尺；往西則火成活動漸減，轉變成全地塹且寬闊的海槽形貌，中央地塹南北分別以東-西向之南界斷層及北界斷層為界，北邊的斷層往南傾，南邊的斷層往北傾，斷層垂直落差超過100公尺，中心有零星的火成活動，如中央地塹火山群，火山高度約200~300公尺；再往西則海槽逐漸收窄消失，北界斷層亦逐漸消失，張裂中心呈現半地塹形貌，火成活動相關的訊號也越來越不明顯；更往西則張裂中心消失不見，取而代之的則是受到南北兩側正斷層陷落形成的宜蘭海脊北嘴，並且轉為東北-西南向。最西側的宜蘭陸棚以東北東-西南西走向之正斷層為主，由於宜蘭陸棚之震測資料間距過大，難以判釋斷層位置及延伸方向。北邊的基隆陸棚以東北-西南走向之南傾正斷層為主，並於北部近岸海域判釋出3條東北-西南向之正斷層，由北至南分別暫名為外金山斷層、野柳斷層及小野柳斷層，外金山斷層位置約是陸地山腳斷層在外海的延伸，野柳斷層分布於野柳岬東北側外海，兩者皆為切穿海床的正斷層，其斷塊基盤頂部被侵蝕形成一不整合面，形成半地塹盆地，小野柳斷層位於野柳東南方，為半地塹盆地內發育之小斷層；此外，於北部海域圈繪出8處海底火山，其中基隆海底火山及海底火山1具有活躍噴氣特徵。經濟部中央地質調查所將持續在東北部海域進行探測與調查，掌握東北部海域之地質構造及海底火山分布特性，完善海域地質基礎資料，相關成果可作為政府藍色國土規劃、資源永續經營、海洋產業開發決策與防、救災計畫的基本參考依據。

利用海底地震儀與多頻道反射震測資料分析 臺灣海峽北部之沉積層與地殼 P 波速度構造

侯丞峰¹、馬仙古¹、王天楷¹

(1)國立臺灣海洋大學 地球科學研究所

摘要

自新生代以來在臺灣海峽沉積層發現 3 層主要不整合面，包含 1)古新世 (~58 Ma)標示開始張裂的初始張裂不整合面(ROU)、2)漸新世 (~30 Ma)南海海底擴張的分離不整合面(BU)與 3)中新世-上新世(~6.5 Ma)的造山帶撓曲作用造成的前陸基底不整合面(BFU)。本研究分析 2018 年在臺灣海峽北部跨越觀音地台以時差式空氣槍為震源，收集 4 條多頻道反射震測剖面，並沿著 OR3-2067-2 測線佈放與回收 8 部海底地震儀。從多頻道反射震測剖面可發現於 OR3-2067-2 測線東南側的前陸基底不整合面，其西北側應為觀音地台前淵與前陸凸起的交界處。從海底地震儀資料折射波和反射波走時反演觀音地台的沉積地層 P 波速度構造，發現於 OR3-2067-2 測線 0.8 公里深度下有兩處 3 公里/秒的明顯高速異常與一處 2.5 公里/秒的明顯低速異常。在多頻道反射震測剖面也可發現觀音地台沉積層高速異常帶的強反射訊號，故推測觀音地台亦可能有侵入岩體。由於菲律賓海板塊朝西北向隱沒與華南地塊朝東南向共同作用下，在臺灣北部海域應力從聚合轉為伸張或橫移，引起一系列的正斷層與走向-滑移斷層。這些正斷層能為臺灣北部海域更新世到現今的火山活動提供通道。臺灣海峽北部也可發現火成岩侵入體，因為火成岩侵入體震相通常顯示高振幅反射和高速異常，且觀音地台東側亦具有因火山運動所造成之背斜構造。此外，本研究接收自福建空氣槍震測海底地震儀資料反演的臺灣海峽北部 P 波速度地殼構造顯示中部地殼的低速 (5.5-6.5 公里/秒) 物質沒有延伸到下部地殼，但在臺灣海峽北部測線中央附近呈碗狀結構。臺灣海峽北部的 P 波速度地殼構造在 4 公里深處也有約 6.5 公里/秒的高速帶，這可能是由於侵入體造成的。未來的結果將引導我們確定觀音地台侵入岩體、正斷層和走向-滑移斷層的分佈。

關鍵字:斷層構造、觀音地台、侵入岩體、走時反演

反射與折射震測分析澎湖盆地東側之沉積層P波速度構造

吳虹儀¹、黃薇²、王天楷²

(1) 國立臺灣海洋大學 海洋環境資訊系

(2) 國立臺灣海洋大學 地球科學研究所

摘要

自白堊紀晚期起，臺灣海峽受地殼活動影響，地層隆起、褶皺並侵蝕，且伴隨海侵及火山活動沉積於低地。至古近紀時期，臺灣海峽藉大陸張裂正斷層分割形成東北-西南走向左移雁行排列的半地塹盆地—東引島盆地、南日島盆地及澎湖盆地。位處臺灣海峽中部的澎湖盆地在東側和東南側存在南-北及東北-西南走向的邊界斷層。2018年曾在澎湖盆地南端發生規模 6.1 的澎湖地震，若因鄰近大陸的濱海斷裂帶而具有活躍的斷層構造，將重新激發臺灣海峽中部斷層活動。為了解該研究區域內的沉積構造及斷層的分佈，且是否有活動斷層及走滑斷層的花狀構造，本計畫分析2021年10月在澎湖盆地東側以新海研2號搭載時差式空氣槍為震源收集的9部海底地震儀震測資料和3條多頻道反射震測資料。計畫中的9部海底地震儀震測資料，共有6部海底地震儀資料可觀測支距10-20公里處的折射初達波。經由澎湖盆地中央次盆地及東北次盆地東側的多頻道反射震測剖面分析海底地震儀震測資料之折射波與反射波走時，建立深度3公里的沉積層與上部地殼P波速度-界面模型。本計畫發現澎湖中央次盆地東側的淺部沉積層的P波速度為1.5-2.75公里/秒，深部沉積層P波速度則為3.0-4.5公里/秒。在澎湖中央次盆地東側海底地震儀震測模型距離5-15公里、2.4公里深處具有上部地殼P波速度高速帶(5-5.5 公里/秒)，推測此地層可能為火山碎屑岩。由多頻道反射震測剖面顯示的淺層複雜強反射訊號，推測是由侵入性岩體或岩漿通道所造成。澎湖盆地的東南邊界斷層(東沙-澎湖北緣斷裂帶)於始新世時期與火成岩間形成半封閉湖相半地塹沉積盆地，異於周遭開放性淺海沉積環境。

國立臺灣海洋大學/王天楷教授
海洋環境資訊系學士/三年級
lucy5328@gmail.com

從震後調查看 2022 年 0918 關山--池上地震地表破裂於玉里地區的地表特徵與變化

王昱¹、吳昇翰¹、李易諭¹、程卉姍¹、段祥¹、徐浩德

(1)國立台灣大學地質科學系

2022 年規模 6.8 的池上—關山地震主震於花東縱谷縫合帶中伴隨了極為明確的同震地表破裂，破裂的發生地點尤以縱谷斷層中段、以及玉里斷層與其南北延伸上最為明確。透過震後野外調查與遙測影像分析，我們發現沿玉里斷層的同震地表破裂帶約略自富里一帶向北延伸，經長良、玉里，北至春日與鍋蓋樑，總破裂長度可超過 30 公里。雖然玉里斷層沿線部分區域因斷層帶通過秀姑巒溪舊河道與水田區，導致這些地區並沒有在地表出現明確的破裂跡，但在玉里鎮區中則有一道狹窄而明確的地表破裂帶，由南往北通過玉里圓環、關帝廟(協天宮)、舊玉里國小(鎮民廣場)等地點。透過於震後 18 小時左右即開始的現地調查，我們發現在玉里鎮區中的地表破裂主要為左移、右接的雁形破裂型態。破裂帶中的構造則以近南北向的左移錯動，以及近東西向的壓縮脊為主，且其分布明顯受震區中的建物地基結構與強度所影響。以關帝廟(協天宮)附近的地表破裂為例，本次地震地表破裂並未如 1951 年般直接穿過協天宮的地基，而是沿其地基東側發展，與推估的 1951 年地表破裂偏移最遠處可能相差達 20 公尺左右，造成附近住家的災損。除了同震地表變形之外，我們經過重複測量與野外照片比對亦發現 2022 地震破裂在玉里鎮區伴隨著極為明顯的淺層跨斷層震後變形，在震後三個月中於多個重複測量點出現與同震變形相近、甚至更大的左移位移，此一強烈淺層震後變形的現象亦可見於 2014 年美國加州的 South Napa earthquake，可能與淺部沖積層的彈塑性變形性質有極大的關聯。

3D coseismic surface deformation of the 2022 Chihshang earthquake sequence from joint inversion of Sentinel-1&2 images

Yu-Ting Kuo^{1,2}、Chih-Heng Lu³、Shao-Yi Huang⁴、Yi-Chun Hsu⁵、Hsin Tung⁴、
I-Chin Yen⁶、Jiun-Yee Yen⁷、Chung-Pai Chang⁵

(1) Department of the Earth and Environmental Sciences, National Chung-Cheng University、(2) Southern Taiwan Earthquake Center, National Chung-Cheng University、(3) Research Center for Environmental Changes, Academia Sinica、(4) Institute of Earth Sciences, Academia Sinica、(5) Center for Space and Remote Sensing Research, National Central University、(6) YIC Geological Office、(7) Department of Natural Resources and Environmental Studies, National Donghua University

Abstract

The Longitudinal Valley in eastern Taiwan is the oblique collision boundary between the Eurasian Plate and the Philippine Sea Plate, and is one of the most seismically active regions in the world. The earthquakes of Mw6.5 on September 17, 2022 and Mw6.9 on September 18, 2022 caused severe damage in the central-southern part of the valley and produced surface ruptures. Surface deformation is an important reference for clarifying the seismogenic behavior and characteristics of this earthquake sequence. We calculated the pixel offsets from ascending and descending radar images (Sentinel-1) and the horizontal displacements from optical images (Sentinel-2), and solved them jointly by resampling to obtain a three-dimensional displacement field. The results show the location of surface ruptures and also provide the distribution of the displacement field. In addition, the distribution of vertical displacement that was previously difficult to calculate can also be displayed. Based on the results, a significant variation in displacement is resolved in the north-south direction, which corresponds to the observed surface ruptures in the field. The vertical displacement field also shows a significant vertical uplift of more than 0.5 m in the north. The surface ruptures and deformations of this earthquake sequence show evidence of offsets in multiple fault lines, which cannot be solely attributed to single fault activity, and implies that earthquake hazard in the Longitudinal Valley needs to be cautiously re-evaluated.

Coseismic displacement determined by GPS and precise leveling on 17 and 18 September 2022, M_L 6.6 and M_L 6.8 Guanshan and Chihshang earthquakes, TaiwanHsin Tung¹, Horng-Yue Chen¹, Yu Wang², Jian-Cheng Lee¹, Ya-Ju Hsu¹¹Institute of Earth Sciences, Academia Sinica²Department of Geosciences National Taiwan University**Abstract**

To precisely determine the coseismic displacement caused by the Guanshan-Chihshang earthquake sequence occurred on 17 and 18 September 2022 in eastern Taiwan. We collected three types of GPS measurements, which are continuously recording reference GPS stations (CORS), single-frequency GPS CORS (SCORS), and campaign-mode GPS stations (CMGS) to acquire the coseismic displacement of two earthquakes. Additional two precise leveling routes located in Yuli and Fuli areas to estimate precise vertical displacements. According to the coseismic displacement revealed by CORS 1 Hz high-frequency data, that the main deformation occurred in the south of Chihshang during the Guanshan earthquake. The largest horizontal displacement occurred at the ERPN station of about 15 cm. Less than 17 hours later, the Chihshang earthquake occurred, causing the Central Range Fault, to the west of or juxtaposing the Longitudinal Valley Fault (LVF), to rupture. The Central Range was coseismically moving southwestward, with a maximum horizontal displacement in Yuli area of about 80 cm. The Coastal Range moved to the northwest showing the maximum horizontal displacement of 60 cm in Fuli area. For the vertical component, the Central Range moves upward and the Coast Range subsides. The maximum uplift is 100 cm in Yuli, and the maximum subsidence is 30 cm in Fuli. Coseismic displacement determination from SCORS and benchmarks of CMGS for two earthquakes provided the similarity movement behaviors as CORS, showing most of the stations in the Coastal Range moved to the northwestern direction with the subsidence behavior and the stations located in the Longitudinal Valley and the Central Range migrated to the southwestern direction, sub-parallel to the Central Range fault with uplift pattern from the south of the Wuhe tableland to Guanshan area. Meanwhile, the precise leveling measurement in Yuli-Changbin route indicated a meter level elevation change happened from the Charnliang to Loho area.

Keywords: 2022 Chihshang earthquake sequence, Coseismic displacement, Central Range, Longitudinal Valley fault, Coastal Range, GPS, precise leveling

從2022年關山-池上地震序列以及百年歷史地震窺探

中央山脈斷層與縱谷斷層之相互作用

唐啓賢¹、林玉儂¹、童忻¹、王昱²、李憲忠¹、許雅儒¹、徐濤德²、
郭昱廷³、陳宏宇¹

(1)中央研究院地球科學研究所、(2)國立臺灣大學地質科學系、
(3)國立中正大學地球與環境科學系

摘要

相鄰斷層系統之間透過應力擾動相互影響。了解斷層在不同幾何形貌下如何相互作用及其隨時間的演化是評估區域地震危害和風險不可或缺的一環。然而，由於斷層緩慢的潛移速率以及久延的大震復發週期，往往需要十分長期的觀測資料才能一瞥相鄰斷層系統間複雜的相互作用。位於臺灣東部的花東縱谷縫合帶，由於快速的相對變形率（約30 mm/yr）、豐富的歷史地震紀錄、以及本次2022年關山-池上地震序列的觀測，提供了前所未有的機會剖析中央山脈斷層與縱谷斷層之相互作用。關山-池上序列始於9月17日的 M_w 6.5關山地震，並在17小時後於北方7公里處發生 M_w 7.0池上地震。結合現地調查、光學衛星影像、合成孔徑雷達干涉成像 (InSAR) 以及密集的全球導航衛星系統 (GNSS) 觀測網，我們發現主要的同震破裂發生在朝西傾的中央山脈斷層上，關山與池上地震的最大滑移量分別為0.6與2.4公尺，而在池上地震期間朝東傾的縱谷斷層上亦出現極淺部的滑移。縱谷斷層上的滑移約佔總震矩 (M_w 7.0) 的10-15%。短期的震後滑移 (34天) 主要分佈在中央山脈斷層同震滑移的下傾延伸部分，滑移量約0.8公尺，震矩約為 M_w 6.9。透過模擬庫倫應力傳遞，我們發現不論是在中央山脈斷層或是縱谷斷層的錯動皆會降低另一條斷層上的庫倫應力，過去120年 $M > 6$ 的歷史地震亦顯示兩條斷層之間震矩隨時間的釋放具有不同步的關係。考量斷層的幾何複雜性以及不同斷層系統之間的相互作用，將有助於進一步精進地震潛能與風險的評估。

關鍵字：關山-池上地震序列、中央山脈斷層、縱谷斷層、全球導航衛星系統、合成孔徑雷達干涉、歷史地震

Coseismic ruptures of the 20220918 Mw 6.9 Hualien-Taitung earthquake in the Songpu area of the Longitudinal Valley of eastern Taiwan and paleo-earthquake records, evidence from surface mapping, electrical resistivity tomography and trench excavations

Jiun-Yee Yen¹, I-Chin Yen², Nai-Wun Shih¹, Shao-Yi Huang³, Yi-Chun Hsu⁴, Yueh-Iuan Ko⁵, Wen-Yen Chang¹

¹ Department of Natural Resources and Environmental Studies, National Dong Hwa University; ² YIC Geological Service; ³ Institute of Earth Sciences, Academia Sinica; ⁴CSRSR, NCU; ⁵Yuetech Geological Office

Abstract

The recent 20220918 magnitude 6.9 (USGS) Hualien-Taitung earthquake was the largest to occur in the Longitudinal Valley of eastern Taiwan in recent history, possibly only smaller than the 1951 Longitudinal Valley earthquake series. Although many previous researches have worked on various aspects of the relationships between the Central Range, the Coastal Range, and the Longitudinal Valley to propose the first-order regional tectonic frameworks that have been generally agreed upon, the detailed behavior of the faults in the Valley and their possible connections to the seismogenic and orogenic natures are still largely undetermined.

The rupture in the rice field of the Songpu area between Yuli and Rueisuei townships was discovered immediately after the 0918 earthquake. Although the location is very close to the Coastal Range, and the Chihshang fault (Coastal Range fault) reported by the Central Geological Survey, rupture style is different from expected on the Coastal Range fault.

We conducted surface mapping, drone survey, electrical resistivity tomography survey to identify the location and style of the rupture. We then performed two trench excavations in the study area to dig into the paleoseismological record around this rupture. Our preliminary results suggest that the studied area had several events in the last hundreds of years. Our field work and trenching results are among the few paleoseismology field works conducted in the area, and are helpful for better understanding of various fault systems in the Longitudinal Valley.

由西部麓山帶到大南澳變質雜岩的變質溫度-利用碳 物質拉曼光譜(RSCM)建構台灣造山帶變質溫度

李元希¹、王少君¹、許哲瑋¹、林翰君¹、許可亞¹、謝立真¹、涂欣玫¹、
林忠諺¹

(1)國立中正大學地球與環境科學系

摘要

近年來利用碳物質拉曼光譜的變質溫度(RSCM)分析有許多新的進展，可提供由沉積盆地到高度變質岩區的變質溫度量測，中正大學地環系使用Renishaw的inVia reflex型共軛焦顯微拉曼光譜系統(Confocal Micro-Raman Spectroscopy System)，激發光源為514 nm波長的拉曼光譜儀，系統性量測造山帶的變質溫度。

在分析方法上，在沉積盆地中利用Henry et al. (2019)方法建立RSCM與鏡煤素的關係，可分析麓山帶的低溫的變質溫度，在150-400度之間利用Kouketsu et al. (2014)及Lahfid et al. (2010)，超過330度利用Beyssac et al. (2002)，利用這些方法已可涵蓋目前的地質作用的變質溫度。

我們利用這些方法並結合前人結果，逐步建構台灣RSCM變質相圖，目前已有RSCM變質溫度區域中央山脈大南澳變質岩區、玉里帶、雪山山脈、部分恆春半島及西部麓山帶。這些變質溫度資料將可提供台灣造山作用重要的參考資料。

Rock deformation apparatuses at NCU: Experimental approaches to tectonic fault slip behaviours

Szu-Ting Kuo¹、Li-Wei Kuo¹、Thi Trinh Nguyen¹、Ting-Yen Tai¹

(1) Department of Earth Sciences, National Central University

Abstract

Over the past decade, a wide spectrum of tectonic fault slip behaviour has been documented by seismological and geodetic observations. In addition to fast earthquakes, the mechanisms for the slip modes, such as slow-slip events (SSEs) and low-frequency earthquakes (LFEs), remain largely uncertain. Such an integrated perspective is critical for evaluating the geological hazards posed by earthquakes. To better understand the underlying mechanisms, we plan to characterize frictional properties of fault rocks at various pressure, temperature, and slip rate conditions. The experimental approaches involve two blocks of geological material sliding past each other using two apparatuses at NCU: (1) the low-to-high velocity rotary shear friction apparatus (LHVR) and (2) the GCTS Servo-Controlled Triaxial Rock Testing System.

The LHVR can produce artificial rapid earthquake slips (up to 1.3 m/s) and is popular for high-speed friction experiments because electric motors can easily achieve high speeds and the rotary configuration allows unlimited slip distances. However, controlling and measuring the pore-fluid pressure at high speeds is extremely challenging. We will modify the LHVR drainage system to make it compatible with a highly sensitive servo-controlled hydraulic pump, so that abrupt changes in pore-fluid pressure during experiments can be controlled.

The triaxial apparatus is ideal for obtaining frictional properties of fault rocks at low speeds (between 10^{-7} and 0.005 m/s) and elevated pressure and temperature conditions, in that the apparatus is configured with pressure vessels and jacketed pre-cut samples. Later this year we will upgrade the triaxial apparatus with an electromechanical pore-fluid pressure controller and heating system, which is capable of simulating the conditions at 3 km depth.

To summarize, we seek to promote long-term interdisciplinary collaborations with people who are interested not only in earthquake physics but also in geomechanics.

Keywords: Friction experiments, Rotary shear apparatus, Triaxial deformation apparatus, Earthquake physics, Geomechanics

建構多重尺度顯微鏡技術於礦物微組構觀測差距之聯結

Bridging the gap among microscopic techniques for microstructural observations of minerals at various scales at NCKU

黃克峻、江威德

Ko-Chun Huang, Wei-Teh Jiang

國立成功大學地球科學系

Department of Earth Sciences, National Cheng Kung University

許多反應可造成不同尺度之礦物組構特徵，部份組構特徵也因此可能成為探索礦物或地球化學反應歷程之重要指標。光學顯微鏡及掃描式電子顯微鏡為研究探討礦物生成與轉變經常應用之工具，從實體顯微、偏光顯微至多重電子顯微觀察及相關分析，呈現一系列不同尺度及不同性質之資訊，但也常因為觀測尺度與觀測性質差異，以及天然礦物交錯生長之複雜性，這些資訊彼此之間也經常存在對應、聯結或驗證困難，部分可成為瞭解現象本質及後續廣泛性或代表性推論之障礙，因此建立可連結和聯結不同尺度及不同性質顯微觀測是研究特定岩礦或地球化學議題之關鍵。

平行及正交偏光顯微鏡依據礦物透光與反射光偏光性質差異，可呈現試片切面晶相組成或組構差異所產生之偏光影像條紋或區塊顏色或干涉色對比差異，學理上可反映礦物種類、組成、結構、晶體方位及切面粒徑與形狀之變化，但許多情況存在無法觀察細微變化或確定致因之困難，或存在偏光顯微觀測與實體顯微和電子顯微觀測資訊連結障礙，能夠提升顯微偏光影像解析度將可大幅提升定義細微光學影像組構之能力。另一方面，偏光顯微組構可因礦物間成分及結構相似性和衍生複雜交錯生長，仍可造成現象解讀不確定性，需要特定電子顯微分析交互驗證，例如結合應用電子背向散射繞射(EBSD)及穿透式電子顯微鏡(TEM)，可協助建立礦物反應偏光顯微組構觀測之解釋基礎。本研究以金瓜石硫砷銅礦與呂宋礦成礦組構和成岩硫化鐵礦物轉變組構為實例呈現此層面之技術發展。

關鍵詞：電子背向散射繞射、穿透式電子顯微鏡、光學顯微鏡、微組構

Keywords: EBSD, TEM, Optical microscopy, Microstructure

晶體動力學到行星科學:高溫高壓實驗

¹花天享, ¹王筑萱, ¹王曜睿, ¹莊勝智,

¹蘇毓婷, ¹黎靜謙, ¹龔慧貞

¹成功大學地球科學系

在國科會地化平台計畫及成功大學支持下, 1000 噸大體積壓力機及拉曼光譜儀安置於成大地科系。1000 噸大體積壓力機做為提供高溫高壓的實驗環境來模擬地球或其他行星環境合成欲研究的晶體或岩石成分, 以供不同的實驗研究及討論其他行星地質。除了地科領域之樣品合成以外, 大體積壓力機也提供材料、物理及化學等領域延伸「壓力」維度以合成/研究新穎材料。除了合成實驗, 大體積壓力機也可用於一些現地高壓實驗如電阻量測。另一方面, 拉曼光量測則提供物質快速且非破壞性的檢測以及研究晶體結構之振動行為。成大地科系所裝置拉曼光譜儀設計具有高度的擴充性;除了可在光徑上插入偏光鏡外, 更優化其載台設計使其可置入鑽石高壓砧及溫控裝置。我們藉拉曼光譜反映晶體結構的關係, 也可在無 X 光單晶繞射儀裝置的情況下, 可藉偏光拉曼光譜對自型或半自型單晶的晶軸快速地鑑定, 使其能應用在單晶物理性量測。在拉曼光譜儀結合鑽石高壓砧和溫控裝置, 可研究物質在現地高溫高壓下的晶體動力學和相變行為。這些研究結果可用來探討化學成分與晶體結構之振動行為如何影響地球內部之行為或材料性質。我們將在本會議介紹大體積壓力機及高溫高壓拉曼實驗裝置及其相關研究。

中文關鍵字: 大體積壓力機, 拉曼, 溫壓實驗, 晶體動力學, 相變

英文關鍵字: Large volume high pressure apparatus, Raman, variable P-T experiment, crystal dynamics, phase transition

Rapid determination of modal mineralogy in igneous rocks and mantle rocks by bench-top micro-X-ray fluorescence spectrometry

Truong Tai Nguyen^{1,2}, Kwan-Nang Pang^{1*}, Wan-Ting Hsu¹, Yoshiyuki Iizuka¹

¹Institute of Earth Sciences, Academia Sinica, Taipei, Taiwan

²Hanoi University of Mining and Geology, Hanoi, Vietnam

Modal mineralogy, also referred to as types and proportions of minerals in rocks, has been determined conventionally by point counting under optical microscopes, an exercise that is tedious and time-consuming. Recent advance in X-ray fluorescence, in particular the focusing optics of the incident beam, offers an opportunity to determine modal mineralogy in rocks rapidly by X-ray mapping. Here, we describe an analytical routine of how that is achieved by a bench-top micro-X-ray fluorescence spectrometer using polished thin sections prepared from a peridotite, a basalt and a granite of known major element compositions. With a programmable sample stage that can move in two directions horizontally, the surface of the thin sections was scanned by a static X-ray tube within the spectrometer. Based on basic mineralogical knowledge of the rocks, X-ray maps of major and some minor elements were examined separately or in combination in the spectrometer software to deduce modal mineralogy. Generally, the results are well compared to mineral proportions calculated based on whole-rock major element analysis. Also, we tested different combinations of pixel size and speed to obtain optimal conditions in modal mineralogy determination without losing accuracy. The time required to map a standard thin section in that way takes less than one hour. This study demonstrates that modal mineralogy can be determined with improved accuracy and efficiency using micro-X-ray fluorescence spectrometry.

Keywords: micro-X-ray fluorescence; modal mineralogy; mapping; igneous rock; mantle rock

Recrystallization or cooling ages? The application of $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ geochronology of mica in Cenozoic Taiwan Yuli metamorphic belt

Chi-Hsiu Pang¹, Meng-Wan Yeh², Jian-Cheng Lee³

Department of Geosciences, National Taiwan University¹,

Department of Earth Sciences, National Taiwan Normal University²

Institute of Earth Sciences, Academia Sinica³

Muscovite can grow under a variety of metamorphic conditions and over variable time scales, resulting in Muscovite populations and even individual grains that may represent compositionally and isotopically heterogeneous systems. It's a critical issue to clarify field structures, analyze microstructures, combine petrological temperature and pressure, use dating methods, and construct a four-dimensional (space plus time) structural evolution history to solve complicated metamorphic history.

In Cenozoic Taiwan Yuli metamorphic belt, previous studies lack microstructure evidence to know whether the Muscovite is in recrystallization or cooling ages (Lo and Yui, 1996; Lo et al., 2020). In this study, we collected the sample from the garnet-epidote-amphibolite schist in Mayuan river and the greenschist in the upper Chingshui river. In the field, we focus on selecting the right rocks that might contain potassium minerals (mica or K-feldspar). And back to the lab, we clarify the microstructure under the thin section and SEM-EDS analysis. Under the thin section of the garnet-epidote-amphibolite schist, the amphibole is the highest metamorphic degree and was replaced by epidote, muscovite, and chlorite, which represents the low greenschist face cleavage. And under the thin section of greenschist, the mineral assemblages in cleavage domain are muscovite and chlorite (1:1). With a clear microstructure, we then followed the standard mineral separation procedure to distinguish the muscovite. Finally, after cleaning with acetone and deionized water, the sample will be sent to the atomic furnace for fast neutron irradiation, and analysis the sample in Ar-Ar Lab in NTNU.

Our $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating ages and microstructure shows that due to the 450 °C closure temperature of Muscovite and under low greenschist metamorphic face, some cleavage muscovite are recrystallized ages, and others are cooling ages.

Key words: $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating, cooling age, recrystallization, muscovite, microstructure, Taiwan, Yuli belt, garnet-epidote-amphibolite, greenschist, Mayuan river, Chingshui river

**Late Eocene Luzon Granitoid Complex:
Exposed tonalitic middle crust of the Paleo-Philippine Arc?**

Karl D. Jabagat^{1,2}, Yuan-Hsi Lee¹, Jillian Aira S. Gabo-Ratio², Leo T. Armada², Hao-Yang Lee³, Carla B. Dimalanta²

¹ Department of Earth and Environmental Sciences, National Chung Cheng University, Taiwan

² Rushurgent Working Group, National Institute of Geological Sciences, University of the Philippines

³ Institute of Earth Sciences, Academia Sinica, Taipei, Taiwan

The formation of TTGs in intra-oceanic arcs has been given emphasis due to its implications on the inception and growth of island arcs and continental lithosphere. Several works on tonalitic intrusive units in island arcs, mainly on the IBM region, propose contrasting petrogenetic models to form such plutonic bodies. This work is the first one to highlight the presence of a late Eocene (Zircon U/Pb: 34-37 Ma) TTG complex in Luzon, which is inferred to represent the tonalitic middle crust of the Cretaceous-Eocene Paleo-Philippine arc. The Late Eocene Luzon granitoid complex (LGC) is composed of very silicic (SiO₂: 65-78%) intrusive rocks comprised mostly of tonalite and trondhjemite with minor quartz diorite and granodiorite units. These batholithic bodies found in both the western and eastern highlands of Luzon are very distinct from younger typical calc-alkaline to adakitic arc intrusive units (Late Oligocene-Pleistocene) in the Luzon arc. Major oxide chemistry shows a general peraluminous composition and exhibits calc-alkaline affinities. Chondrite-normalized trace element compositions show pronounced negative Eu anomalies (Eu/Eu*: 0.2-0.8) accompanied by varying degrees of LREE enrichment. Discrimination diagrams utilizing HFSE/LILE ratios and LREE/HREE ratios reflect a primitive- to typical-oceanic arc environment. Furthermore, biotite mineral chemistry data from one intrusive sample, which also reflected a peraluminous character, showed crustal derivation. Based on these new age dates and geochemical data, we assume that these peraluminous granitoid are most likely formed from the anatexis melting of a primitive arc crust during the Eocene due to an episode of asthenospheric upwelling.

Keywords: Middle crust, Island Arc, Luzon

磁力顯微鏡在古地磁之應用

粘佑瑄¹、羅君豪¹、詹定勝¹、謝明治¹、洪崇勝²、陳燕華^{1*}

¹國立成功大學地球科學系

²中央研究院地科所

聯絡資訊: yhc513@mail.ncku.edu.tw

1985年原子力顯微鏡 (Atomic force microscope, AFM) 問世後, 使得人們能夠在原子尺度下觀察礦物/晶體之微觀組構及其原子排列, 並將礦物晶體的表面形貌、原子排列、晶體生長、磁特性、壓電性、楊氏係數等性質——展現在眼前。磁力顯微鏡 (Magnetic force microscope, MFM) 則是原子力顯微鏡之衍生技術, 其成像原理乃是利用一支極細的探針去感應樣品表面的磁場變化, 進而描繪出樣品表面之磁力影像 (包含: 磁區結構、磁場方向...等特性)。本研究運用磁力顯微鏡觀察澎湖玄武岩、綠島安山岩、蘭嶼安山岩之表面磁特性, 研究結果發現: MFM 可清楚掃描出岩芯樣品內各個磁性礦物之表面磁區結構, 而且其磁場方向與巨觀磁學方法所量測到的磁場方向一致, 此證明磁力顯微鏡可解析岩石中磁性礦物所提供之古地磁密碼; 我們期待原子力顯微鏡在地科領域之應用大放異彩。

世界地熱發展現況和展望

宋聖榮

國立臺灣大學地質科學系

The Current Situations and Prospects of Geothermal Developments in the World

Sheng-Rong Song

Department of Geosciences, National Taiwan University

全世界截至目前的地熱裝置容量約 15.854GW，預期至 2050 年時的裝置容量能達 200GW。其中，目前的地熱開發集中於淺層(傳統)地熱，而預期要快速的提升地熱發展，則有賴深層地熱(包括 EGS、AGS 和 SGS 等)技術的提升。翻開過去世界地熱發電裝置容量史，排名前 10 名的地熱國家可分為傳統地熱開發型和新興地熱開發型。前者的國家包括美國、日本和菲律賓等，裝置容量的增加是隨政府發佈有利於地熱之政策而呈現階梯狀的成長；後者以印尼、土耳其和肯亞等國家為代表，這些國家的政府一開始就制定有利於地熱開發的政策，而後地熱裝置容量呈現線性快速的成長。後續台灣的地熱開發應該學習新興地熱國家，在地熱開發初期就制訂完善的遊戲規則，引導有意開發的廠商積極投入地熱的探勘與開發。

歐洲 2022 年的綠色金融會議中，幾個全球化大型的金融投資基金宣稱，從 2023 年起不再投入石油和天然氣田的探勘和開發的行列。在更早之前歐洲有一些石油公司就已開始綠色轉型。例如，丹麥最大石油公司是創建於 1962 年的馬士基石油公司，屬於丹麥航運 A. P. Moller-Maersk 集團下的子公司，營運約 50 年後(2017)轉賣給法國道達爾石油公司(Total Energies)，並於同年成立 AP Moller Geothermal，轉型地熱乾淨能源的探勘與開發。總部設於挪威奧斯陸的 Rystad Energy，是一家獨立的能源研究和商業情報公司，也是挪威最大的獨立能源諮詢公司，以及全球領先的石油和天然氣行業分析公司。該公司主要提供石油和天然氣分析，但近年來再生能源和低碳排放分析變成其最大的工作。另外，有號稱美國石油公司一條街的休斯敦市，聚集的全球數一數二的石油公司和油服公司，如 NOV, Huiiburton, Nobles, ... 等，以往幾乎沒有設立地熱相關部門，但最近幾年則紛紛成立地熱探勘和技術開發的部門，讓全球地熱開發呈現欣欣向榮的趨勢。由上述可知全世界正在吹起能源轉型風，把同樣來自地下的化石能源轉型為地熱能的探勘與開發。

關鍵名詞：地熱開發、裝置容量、綠色金融、能源轉型

Applicability of Na-K geothermometer in the Chingshui-type geothermal field

Yi-Chia Lu¹、Sheng-Rong Song²、Ya-Min Yang²、Ting-Jui Song³、Chyi
Wang²

(1) Graduate Institute of Applied Geology, National Central University、(2) Department
of Geosciences, National Taiwan University、(3) Fabulous Power Co. Limited, Taiwan

Abstract

While most geothermal fields around the world are located in volcanic areas or related to magma intrusion, the main geothermal fields in Taiwan are widely distributed in argillite/slate formations, with the exception of the Datun Volcano. These fields, including Chingshui, Tuchang-Jentse, Lushan, Jhiben, Jinfeng, and Baolai, are formed from metamorphic shale and are fueled by the rapid uplift of the orogenic belt. The fractured zones resulting from collision and compression provide excellent pathways for deep-seated fluids to reach the surface through the hydrological cycle. These regions are characterized by high concentrations of bicarbonate ions (up to 3000 mg/L) and low concentrations of chloride ions (less than 40 mg/L), with sodium ions being the predominant cations. The Chingshui geothermal area, which boasts over 25 geothermal wells covering a wide range of temperatures, has the highest temperature gradient and is the only field with a commercial power plant. As such, we use the term "Chingshui-type" to collectively refer to these hot springs located in slate formations.

In slate formations, the sodium-potassium geothermometer commonly used in volcanic areas is not applicable due to the absence of K-feldspar, which is necessary to achieve ion balance between sodium and potassium feldspar. However, we have found a proportional relationship between the sodium-potassium ratio, the silica geothermometer, and downhole temperature measurements in geothermal wells. We believe that illite and chlorite play a role in equilibrium with plagioclase in reducing environments. Therefore, the sodium-potassium geothermometer is still applicable, and we have proposed a new sodium-potassium geothermometer suitable for argillite/slate formations based on the silica geothermometer and downhole temperature measurements.

宜蘭地熱區裂隙活化趨勢分析

以芄芄溫泉、排骨溪、土場與仁澤為例

王婷慧¹、葉恩肇¹、張郁敬¹、陳棋炫²、陳勉銘²

國立臺灣師範大學地球科學研究所¹

經濟部中央地質調查所²

摘要

政府規劃於 2025 年達成淨零排放的目標，位於環太平洋火環帶的臺灣，其地熱能發電是目前少數可以自主、基載且極具潛力的再生能源，因此積極的探勘與開發熱能是刻不容緩課題。我國估計傳統地熱的發電潛能僅 1GW，但預估仍有 31.8GW 的深層地熱潛能尚未發掘，如何篩選具高潛能的地熱發電場址，需詳細的地質、地物與地化的調查以及探勘評估。前人研究成果指出宜蘭地區地表有多處溫泉、噴氣孔等地熱徵兆，配合鑽探資料推算的高地溫梯度顯示宜蘭地區可能為良好的地熱潛能場址。目前宜蘭在清水地熱區已有 1 處商轉地熱發電廠，為評估宜蘭地熱區地熱流的永續發展性與延續性，本研究以芄芄溫泉、排骨溪、清水與土場仁澤地點為例，評估不同位態裂隙成為地熱流體通道的潛能與可能性。

地質調查結果顯示研究區域的地層岩性主要為變質砂岩、板岩及硬頁岩，劈理面大多近乎平行層面，走向以東北—西南方向的板劈理為主。節理走向以北北西—南南東方向至近南北為主、北北東—南南西方向次之，礦脈走向則由東北—西南走向與西北—東南。研究區域的震源機制解反演結果顯示，芄芄溫泉、排骨溪、土場與仁澤地區大地應力狀態主要以正斷層為主走滑斷層為輔，最大主應力方向為北北西—南南東方向擠壓，與後期岩脈及節理走向相似。配合應力反演所計算出擴張趨勢、滑動趨勢及裂隙不安定性等的裂隙活化趨勢空間分布可推測芄芄溫泉、與排谷溪區域以南北走向高傾角裂隙的活化趨勢較高，土場仁澤則以西北—東南走向高傾角裂隙的活化趨勢較高，與地質調查的

節理走向相符合，推斷該位態裂隙可能成為熱液的上湧通道。本研究進一步將會以數值高程模型所判釋之地表構造，經球型變異分析及投影角篩選後取得可信度較的地表線型，結合大地應力場資訊，評估各線型裂隙之活化潛能，並結合地質調查的成果，對地熱資源的探勘與開發提供更充分的資訊，以期提升台灣地熱能源之運用。

關鍵字：裂隙活化趨勢、地熱、宜蘭

- (1) 國立臺灣師範大學/葉恩肇博士
- (2) 碩士/二年級
- (3) 61044006s@ntnu.edu.tw

基隆海底火山地熱資源潛能探勘規劃

*陳松春¹、許樹坤²、蘇品如¹、林依蓉¹、邵屏華¹

1.經濟部中央地質調查所、2.國立中央大學地球科學學系

摘要

基隆海底火山(Keelung Submarine Volcano, KSV)外界常有稱為「新瀨礁」，由於火山名稱已發表於國際期刊，地調所也依據稱為「基隆海底火山」，希望國內爾後統一名稱。基隆海底火山(突出海床)位於基隆港外海約5公里處，火山範圍直徑約6公里，突出海床的火山體，長度約795 m，寬度約425 m，高度約40 m，分布水深約20-65 m。以往調查研究指出KSV是活火山，地調所109年執行東北部礦產地質調查計畫，發現有活躍噴氣、距離海床約2-5公尺海水溫度有升高1~2.3°C、從地化分析，具有熱液指標：低Mg²⁺、高Li⁺濃度及高總鹼度特性，推估熱液溫度>350 °C以上。

由於KSV可能具有地熱發電潛能，經濟部交辦進行「基隆海底火山地熱資源潛能探勘規劃」，目前規劃2年海域探測(113-114年)，2年建置地熱發電示範場域(115-116)，祈望預期執行4年後可研發經濟效益開發工法及廠商投入。由於國內海域探測載具(探測船)、探測設備及人力都相當有限，未來海域探測將會面臨相當大的挑戰。雖然國內海事工程有部分具規模的業界，可執行示範場域海事工程部分，但可施作水深仍相當有限(僅水深最深約60公尺)，而國內海底發電機工程也還不成熟，然而希望能聚集國內公司、學者專家及和海洋委員會國家海洋研究院(簡稱國海院)跨部會合作，共同努力，如果成功將是國際海底火山地熱資源開發利用之首例。然而KSV是活火山，必須面對災害問題，以及位在基隆港航道及錨泊區，未來仍需克服相關行政問題。

關鍵詞：地熱資源、基隆海底火山、地熱發電

非彈性應變回復法現地應力評估的統計分析與精進

蔡維倫¹，陳炳權²，楊士寬¹，葉恩肇¹，林立虹²，柯建仲³

¹ 國立臺灣師範大學地球科學研究所

² 國立台灣大學地質科學系暨研究所

³ 財團法人中興工程顧問社 大地工程研究中心

隨著科技文明的進步、經濟發展的提升，及為追求更高的生活品質，人們對於天然資源與能源開採、工程開發和廢棄物處置等各項需求也日與俱增。在這些發展的促使與推動下，地下開挖工程逐步普遍，也因此現地應力的量測及資訊趨於重要。現地應力的量測有諸多方法，如套鑽法、水力破裂和非彈性應變回復法等。其中以非彈性應變回復法(Anelastic Strain Recovery, ASR)為目前成本耗費較低與效率較高的現地應力測量方法(孫東生等人, 2014)。ASR法是以鑽井獲取地下深處岩石，藉由應力解壓後所產生的應變回復進以推算三維現地應力方向和規模的方法。

前人使用的非彈性應變回復的解析方式是使用 18 個黏貼於岩芯的應變計測量 9 個方向的回復正應變規模，以程式重建三維應變張量，進行三維主應變場的演算，轉換成主應力方向與規模。但結果只獲得一組平均數值，並未分析各方向與規模的偏差量，以致無法說明數據的可信度供工程單位參考使用。本研究預計進行原程式的改進，將原本 9 個方向應變數據改以 6 個獨立方向為一組單位，並於每個獨立方向使用 4 個應變計進行量測，再以數據利用共變異數進行機率與統計的計算，以數值的變數變化程度來和期望值進行分析比較。

實驗樣本取於臺東南橫大崙溪，深度 140 米之片岩樣本。ASR 實驗黏貼 24 隻應變計數據初步分析結果顯示為非典型安德森斷層應力場形式。最大、次大和最小主應變之位態分別為 $141.14^\circ/45.79^\circ\text{E}$ 、 $36.22^\circ/14.05^\circ\text{E}$ 和 $293.74^\circ/40.81^\circ\text{W}$ ，水平最大應力的擠壓方向為西北-東南向，主應力由大到小分別為 3.66、2.22 和 2.06 MPa。葉理傾向和傾角分別為 296.18° 和 65.31° ，葉理面的法向量與三軸主應變相距較遠，推測本樣本可能沒受到葉理面力學異相性的影響。

後續將得到的數據結果進行統計與總結，使 ASR 實驗應力精度的可信度增加。

關鍵字: 非彈性應變回復法、現地應力

英文關鍵字: Anelastic Strain Recovery, in situ stress

論信賴保護原則—

從地質敏感區變更公告與地質敏感區基地地質調查及地質安全評估手冊改版出發

許繼隆¹ 盧詩丁²

司法院釋字第 605 號解釋理由書指出：「任何行政法規皆不能預期其永久實施，然行政法規發布施行後，訂定或發布法規之機關依法定程序予以修改，應兼顧規範對象信賴利益之保護。」據此，地質法主管機關依地質敏感區劃定變更及廢止辦法規定，變更地質敏感區劃設範圍並公告時，原劃設範圍內的人民或開發行為人得否主張前揭司法院大法官解釋之「信賴保護原則」？

地質敏感區的公告，依照法務部 101 年函釋認為此類公告似屬行政程序法所規範之法規命令性質，然司法院釋字第 742 號解釋後，縱使為法規命令之性質，亦有對之提起行政訴訟之可能。不過，無論地質敏感區的公告係屬法規命令的性質或具有行政處分的性質，均有信賴保護原則的適用。倘地質敏感區變更公告係「減輕人民公法上義務」或機關依變更後之公告而免除對原劃定範圍內之人民或開發行為人作出「負擔處分」時，則變更公告後，依行政程序法第 117 條第 2 款及同法第 119 條本文之規定，應無信賴保護原則之適用，亦即，原公告劃定範圍內之人民與開發行為人不能對主管機關主張信賴保護原則。

行政程序法所稱之「行政指導」，由於不具法律拘束力，學理上將此類行政行為稱作「行政事實行為」而有別於其他具有法律效力的行政行為，則現行主管機關所公告之各類「地質敏感區基地地質調查及地質安全評估手冊」等行政指導文書，依據最高行政法院 99 年度判字第 1141 號判決謂：「行政事實行為無從作為人民信賴之基礎，與信賴保護原則無涉」，從而前述各類手冊內容改版亦無「信賴保護原則」之適用。倘地質敏感區自始不曾公告變更，然修訂後之法規命令較修訂前之法規命令寬鬆，或依修訂後之法規所作出之負擔處分較修訂前減輕者，亦無信賴保護原則的適用。

中文關鍵字：信賴保護原則、地質敏感區變更、基地地質調查及地質安全評估手冊、負擔處分

¹ 應用地質技師、律師專技高考及格。

² 經濟部中央地質調查所綜合企劃室主任。

地質法第9條授權下之資料檢核方法可行性研究

鄭文昕¹、林樞衡¹、張恩維¹、陳柏村¹、盧詩丁¹

(1)經濟部中央地質調查所

摘要

現行「地質敏感區基地地質調查及地質安全評估作業準則」第2條及第3條載明基地地質調查及地質安全評估是以「區域調查」及「細部調查」做為範圍界定與作業進行方式，然依據「地質法」第9條第1項規定，基地地質調查及地質安全評估應視情況就「由現有資料檢核，並評估地質安全」或「進行現地調查，並評估地質安全」二方法擇一行之，顯見現行作業方式與地質法第9條要求不甚符合。

為修正該問題，使其能與地質法第9條授權規定一致，始進行作業準則及參考手冊內容條文細部研析，同時蒐集相關土地開發行為審查機關、專業團體在審查上的實務建議，於調查方法中提出「現有資料檢核」方法做為評估地質安全的基礎，初步考量針對規模量體較小、面積較小、較為單純之案件，據此提出資料檢核申報操作配套，藉以強化「地質敏感區基地地質調查及地質安全評估作業準則」與地質法第9條於調查評估方法規定之關聯性與完整性，期能同時達簡政便民成效。

地質敏感區基地地質調查及地質安全評估資料檢核申報方式在設計上係參考相關法規已採簡易申報型式的相關文件，以重點呈現地質條件資料，減少現場調查作業項目負擔，又能維持承辦技師需現場勘查，以確認地形地貌有無符合所蒐集之地質文獻資料情況，避免引用資料過時或所引用之資料不符合實際地形地貌狀況。資料檢核申報檢核項目及內容，其重點除呈現地質條件資料外，仍須以「是否足以完成地質安全評估」為關鍵要求，若資料蒐集後發現或資料顯示不足以完成地質安全評估，則仍需回歸「現地調查」方法，以完成地質安全評估工作。

關鍵詞：地質法、地質敏感區、作業準則、土地開發行為

海域地質探勘調查資訊展示與資料供應之研發-以離岸風電 場域地質調查為例

陳家生¹、邵屏華²、陳松春²、蘇品如²、林依蓉²、陳聖元²、潘怡光¹、陳玉鴛¹

(1)捷連科技有限公司系統開發部、(2)經濟部中央地質調查所資源地質組

在全球前 20 大適合發展離岸風力發電場域中，臺灣海峽具有風速強、海水淺，以及風向穩定等優勢，佔了 16 處，其中前 10 名中有 9 處位於臺灣領海，吸引國內外風電廠商進駐開發。政府新能源政策目標於 114 年提升再生能源發電比例至 20%，經濟部規劃風力發電長期目標為 114 年達成 5.7GW 以上。

地質資料是國家建設、資源開發、國土規劃及永續利用等不可或缺的基本資料。離岸風力發電的建置成本約為陸上風力發電的 3 倍，技術門檻高，因此有效掌握風場附近的海域地質狀態更是各大風電廠商評估進駐的首要任務。除了地質資訊外，離岸風電場域規劃亦受到「保育與管制」以及各類「經濟活動」等條件限制，無法有效落實規劃，影響達成政策目標效率，甚至影響風電廠商進駐意願。

經濟部中央地質調查所配合政府重要綠能政策，在離岸風電場址進行海洋地質環境調查，提供基礎地質環境資料，除補足離岸風電地質環境資料缺口外，並基於「地質是公共財」及資料開放精神，建置及開發地質與環境感知系統，透過資訊技術導入，綜整在離岸風電場址之地質及其他各項調查成果，融合蒐整國家既有海域地質調查成果基礎環境資料，收整融合環境與保育限管資訊，結合民生使用與經濟開發區塊等，擴大建立具規劃、管理之離岸風場評估決策支援系統。

中文關鍵詞：雲端應用、開放資料、感知、地質、離岸風電

Rapidly climate-changing Holocene sediment generations and coastal environments of southern Taiwan

¹Jiun-Yee Yen, ²Neng-Ti Yu, ³Shyh-Jeng Chyi, ⁴Liang-Chi Wang, ³Lih-Der Ho, ³Jia-Hong Chen, ⁵Cheng-Hao Lu, ⁶Yu-Chang Chang, ⁷Yu-Chun Lin, ⁷Yung-Sen Chen, ⁸I-Chin Yen

¹ Department of Natural Resources and Environmental Studies, National Dong Hwa University; ²Center for General Education, National Tsin Hua University; ³Department of Geography, NKNU; ⁴Department of Earth and Environmental Sciences, NCCU; ⁵Department of tourism and leisure, NPU; ⁶ Institute of Earth Sciences, Academia Sinica; ⁴CSRSR, NCU; ⁸YIC Geological Service;

Abstract

Typhoon Morakot in 2009 brought a record amount of precipitation to southern Taiwan, causing a large and widespread landslide in the mountainous area. Many previous researches have worked on the processes and causes of landslides, especially the devastating one in Hsiaolin village.

From the huge amount of sediment generated on the order of days during this typhoon event, we can raise several questions: 1. Is Typhoon Morakot unique in terms of precipitation and sediment production? 2. apart from the instantaneous sediment transport during the event, does sediment cascade from the upper reaches down to the coast? 3. are the previous two questions related?

The coastal plain is a relatively low area that can be exposed to the hazards of sea level rise and land subsidence. Changes in the coastal environment will have a great impact on society because of the high population density in this type of environment. Previous researches have shown that our coastline has generally been moving towards the sea in the last thousand years. However, there is a lack of evidence linking the sediment-generating event to the coastline change. This is partly due to the lack of resolution in the available literature.

In this research, we conducted several projects focusing on sediment generation in the upper reach, changes in the coastal environment, and the link between them. We have established some of the past extreme events in the upper reach area of Lao-Non River, and established a long age control well near the mouth of Kaoping River, which shows the sedimentary environment changed from braided river in pre-Holocene time, to estuarine type of sedimentary environment, and later to barrier island and lagoon after 7.5 ka.

研發海陸聯合觀測技術於澎湖極端海岸災變事件

呂政豪¹、莊明霖¹、吳明典¹、蔡淑敏¹、陳宏宇²

(1)國立澎湖科技大學、(2)中央研究院地球科學研究所

摘要

極端海岸災變事件對全世界的海岸地區造成快速的變化和衝擊，如海嘯、颱風、地滑或斷層活動等。過去受限近岸水下地形的測繪困難，造成台灣的近岸地形多為空白，也無法有效監測極端海岸事件的影響，特別是事件前後的水下地形變化。因此，本研究聚焦於發展自主無人船隊測繪技術，並將所研發的海陸觀測技術導入澎湖外垵古海岸地滑的調查，以界定地滑的海陸空間範圍、形成機制、年代與演育過程。

具體成果部分，研究團隊已完成自主無人船隊的技術研發，除運用3D設計製作無人船體外，並研發無人船長距離雙通訊系統，整合自製低頻無線電天線組合以及4G/5G通訊模組，兩者互為備援，不僅能讓通訊距離比市面上的通訊模組傳輸更遠，也是無人船隊集群控制和航行安全性的成功關鍵，後續將著手專利申請。此外，本計劃透過整合酬載高精度GNSS和 underwater 探測設備系統，目前已完成屏東大鵬灣與澎湖海灣半開放海域精密水下測繪或監測任務。除此之外，本研究透過野外調查、無人機測繪和碳十四定年採樣已建立外垵古地滑的崩塌演育機制。

臺灣西南部加藤港古海嘯紀錄的黑歷史

The dark secret of the Ka-têng Harbor paleotsunami record in southwestern Taiwan

齊士崢、施雅軒、顏君毅、陳佳宏

《臺灣采訪冊》〈加藤港暴漲〉是台灣南部曾經發生海嘯的最重要歷史文獻紀錄，但是文本不僅錯寫事件發生位置、沒有正式官方紀錄、描述的災害程度不科學，且敘事使用大量修辭手法，使其中作為符號之字詞的能指和所指具有多重關係。對照當時的社會情境和其他相關歷史紀錄，與其說敘事欲呈現的是「暴漲」事實，毋寧說它是統治階級移花接木，創造的偽歷史文本，欲利用民眾對災害事件的恐懼與想像，移植權貴階級的價值觀。甚至有可能是地方政治經濟菁英集團對抗外來官員，用以形塑意識形態、規訓婦女的性別歧視寓言。當代學者認為這是描述「海嘯」的歷史文本，原因並非來自與海嘯直接有關的科學知識，其反映的是被科學所教育、規訓的學者，在閱讀隱藏複雜意義的歷史文本時，不由自主的忽視敘事錯誤，或對其中隱含的寓意視而不見，甚至偏頗解讀其意義，一系列的行動再啟動政府機構與官員、傳播媒體、社會大眾對自然環境變動的關注或恐懼，最後這整個過程成為認定歷史文本記載的是「事實」的唯一標準。如此形塑「加藤港海嘯」的過程，無疑是跨世代集體創作「當代傳奇」的典型案例，也正符合傅柯對於知識生產權力、權力生產知識，甚至相互壟斷的知識-權利論述。

關鍵詞：加藤港、古海嘯、寓言、都市傳奇

Keywords : Ka-têng Harbor, paleotsunami, allegory, contemporary legend

屏東大鵬灣近千年的洪氾與颱風湧浪堆積物

Flood and typhoon surge deposits in the Dapeng Bay, Pingtung from the last millennium

大鵬灣位於東港溪與林邊溪之間的海岸平原，古稱鰲興港與茄藤港，是台灣西南部最大而且典型的瀉湖－堰洲島系統，水深 2-6 公尺，波浪與沿岸流作用旺盛，潮差則不及 0.5 公尺。

在台灣 400 年的歷史中，屏東海岸平原遭遇多次水患與風災，1781 年大鵬灣也有疑似海嘯溢淹的情事。這些極端事件都可能伴隨強勁的洪水、湧浪、與暴潮，帶來較粗顆粒的沈積物，堆積在原本平靜的、細顆粒堆積為主的大鵬灣之中。

為了執行「氣候變遷下的陸海交互作用觀測」研究計畫，本團隊在大鵬灣、東港溪與林邊溪下游周邊進行淺層鑽探，並結合 2013-2016 年的古海嘯沈積物調查成果，揭露了過去近千年的地層記錄，深度約在 10 公尺以內。

這些沈積層都反映當地主要的沈積作用。東港溪與林邊溪岩芯是以砂與礫石質粗砂為主，偶夾泥層，反映瓣狀河平原間歇性的氾濫。大鵬灣則是以厚層貝殼-碳質泥為主，多為靜水沉澱伴隨生物擾動；鄰近堰洲島或東港溪支流—後寮溪附近，岩芯就有層理發達的厚層砂層，受到沿岸流、湧浪、河流的搬運與淘選。

在大鵬灣周邊的岩芯中，後寮溪附近有 2 層公尺級的厚砂層，常有泥塊與底部侵蝕面，也有向上變細到斑駁狀泥層的層序，側向常有些微的層厚變化，可以延伸到 2 公里以上。從現在的河道外型推測，這些砂層應該是河曲沙洲氾濫與河道遷徙後的充填物。

在堰洲島的背側，普遍出現 4 層砂，含有豐富的貝殼碎屑，層厚多在十到數十公分，最底部一層估計超過 3 公尺厚。各砂層都向陸側方向變薄尖滅，側向分布大多在垂直海岸線 1 公里左右，推測是由至少 4 次以上的暴潮湧浪堆

積而成。

從這些砂岩的深度與泥層的碳十四定年來看，大鵬灣在歷史時代以前，後寮溪氾濫與遷徙堆積較為旺盛，其後的歷史時代，潟湖的泥層堆積作用轉趨旺盛，並伴隨多次湧浪與暴潮的堆積事件。

中文關鍵字: 大鵬灣、海陸交互作用、洪氾、暴潮湧浪、生物擾動泥、層理砂

Keywords: Dapeng Bay, Terra-aqua interaction, Flood, Surge overwash, Bioturbated mud, Stratified sand

屏東大鵬灣兩萬年來沉積物內孢粉紀錄初探

汪良奇¹、游能悌²、顏君毅³

(1) 國立中正大學地球與環境科學系、(2) 國立清華大學通識教育中心、(3) 國立東華大學自然資源與環境學系

摘要

屏東大鵬灣位於西南部，為台灣最大潟湖。由於沈積速率快，因此為進行高解析度古環境重建的絕佳材料。本研究分析探鑽於大鵬灣西北沿岸長達240公尺之岩心內所保存孢粉，並嘗試建立該區古環境變遷歷史。

將放射性碳定年結果以貝氏統計方式進行年代深度模式建立，顯示該岩心約包含兩萬年以來的紀錄。孢粉分析初步結果顯示沉積物內主要孢粉有木本花粉類的赤楊屬、松屬、鐵杉屬、栲屬、櫟屬、饅頭果屬、紅樹屬等。草本花粉則以禾本科、農耕禾本科、菊科、艾屬、藜屬、莎草科、水蠋屬較為常見。蕨類孢子則有單溝孢子、三溝孢子、鳳尾蕨屬與卷柏屬。藻類則有淡水的環形藻孢子與海水的甲藻。

基於上述孢粉類群在不同深度的變化，我們大致重建台灣西南部兩萬年來的古環境變化。所重建結果與南投頭社泥炭與屏東東源谷地泥炭內的花粉紀錄進行對比，以了解可能影響台灣南部地區長時間尺度環境變遷的氣候因子或人類活動因素。

臺東大武溪與朝庸溪下游的埋積谷地地形演育研究

施宣妃¹、齊士崢¹、陳佳宏²、張文彥²、顏一勤³

(1)國立高雄師範大學地理學系、(2)國立東華大學自然資源與環境學系、(3)國立中央大學應用地質研究所

摘要

臺東大武溪與朝庸溪為兩條相鄰並向東流入太平洋的河流。有一個長約2公里，寬約0.35公里的埋積谷地與兩溪下游相連，地勢起伏非常平緩，疑似為早期河川襲奪後的廢棄河道。本研究透過地形分析、地電阻分析，並利用一支60公尺長的岩心進行沉積相分析、X光螢光分析與碳十四定年分析，重建此地區的河流地形演育過程。

此地區的地形演育過程可分為三個階段。第一階段：末次冰盛期至大約9 ka。根據地電阻可知，原先的谷地河床較現今河床低約100公尺，極有可能為受到全球海水面下降影響而形成的下切河谷。爾後隨著海水面上升，較接近來自朝庸溪的河川礫石與河砂，及一些周圍邊坡的土石流沉積物將河床埋積超過40公尺，推測當時的下切河谷可能為源自於目前朝庸溪集水區的大武溪支流。第二階段：大約9 ka至6.5 ka。由於早全新世海水面快速上升，河川坡降降低導致沉積物搬運能量降低，河道沉積物以斑駁狀或水平紋理構造的砂或泥為主。另外，來自大武溪或海灘的三層砂層有明顯較低的log(Ti/Ca)，說明谷地可能受到大武溪氾濫或海水的影響，但目前尚未確定沉積物來源。第三階段：大約6.5 ka至現今。岩心頂部厚4.5公尺的泥質沉積物具有強烈的斑駁狀構造，可能與長時間接近地表或近代農業活動有關。這層沉積物底部並無觀察到侵蝕面，推估6.5 ka以來的沉積速率僅0.7 mm/yr，相對薄且長時間的沉積層可能表示該處已缺乏來自上游的沉積物供應。據此推測，該支流上游可能最慢在6.5 ka發育沖積扇，堵塞河道，造成支流改道流入目前的朝庸溪，使之成為廢棄河道。此外，此時期海水面緩慢降低，也可能造成河流沉積空間縮小，而使沉積速率偏低。

原先源自目前朝庸溪集水區的大武溪支流，可能因為海水面上升的影響而被沉積物埋積，成為埋積谷地。使該支流成為廢棄河道的原因並非為河川襲奪，應是上游沖積扇發育堵塞該支流，造成河川改道。最後，7.1 ka時海水面較現今高約2公尺，估計此時堆積的陸地沉積物位於現今海拔約5.8公尺，故推斷此處的抬升速率一定小於0.5 mm/yr，甚至為沉降環境。

中文關鍵字：埋積谷地、河流地形演育、X光螢光分析法、地電阻

初探布唐布納斯溪的沖積扇階地發育機制

陳佳宏¹、齊士暉²、顏君毅¹

(1) 國立東華大學自然資源與環境學系、(2) 國立高雄師範大學地理學系

摘要

河流階地沉積層往往紀錄了特定時期的環境變遷，尤其荖濃溪上游河段保存著大規模的沖積扇堆積階地，2 ka以來更被認為記錄了多次規模大於莫拉克風災的土石流事件，其中1.5 ka事件規模更遠大於莫拉克風災數倍，廣泛加積在美秀溪、清水溪及布唐布納斯溪的階地堆積層中，不過美秀溪和清水溪則缺乏其他數次事件或沒被觀察到，暗示即使在具相似背景的相鄰流域，當面對特定事件時，可能具有不同規模、不同頻率甚至不同步的複雜反應。而莫拉克風災與後續的颱風事件所造成的布唐布納斯溪大規模崩塌，進一步引發大量崩積物埋積老階地與荖濃溪主流河道，更是說明了布唐布納斯溪在面對氣候變化時，可能具有相對高的敏感性。

初步結果顯示，布唐布納斯溪的上游區域仍保存著過去崩塌事件所累積的崩積體，且這套被遺留的崩積體可能不單歸因於前人所認為的，是莫拉克風災在河谷右翼的深層重力斜坡變形而產生弧形地滑所致，我們認為很可能是數次崩塌事件所累積的暫時性結果，並在主支流匯口處重複加積和下切老沖積扇，即使規模小於莫拉克風災的降雨事件亦可持續供應大量崩積物或搬運崩積物至下游，所以當代埋積老階地的堆積物也未必來自莫拉克風災所崩塌的物質，也就是說莫拉克風災可能只是一次誘發過去累積事件下的外部因子。也由於上游保存大量崩積物且持續向下游搬運，而有易於布唐布納斯溪的階地沉積層記錄多次自然事件，意味著上游主要崩塌區、中游主要堆積區、下游匯口沖積扇相互間可能不見得具「直接關連性」，或不具有「事件尺度」的關聯性。

關鍵字：布唐布納斯溪、堆積階地、莫拉克風災

以陽明山鴨池探討過去 1600 年北台灣氣候與環境變化

陳豫祥¹，汪良奇¹，鹿島薰¹

(1) 國立中正大學地球與環境科學系

摘要

近年來人為活動所排放的溫室氣體使溫室效應增強使氣候變得更加難以預測。為了增加過去氣候的數據以了解氣候變化故在本研究中，使用了台灣北部陽明山鴨池的湖泊岩芯，對其進行了放射性同位素定年、粒徑分析與矽藻分析，並將矽藻分析之數據進行處理得到 α -diversity 與 β -diversity 等資料。

在結果中分成四個 diatom zone 重建鴨池古環境變化，分別為 Zone1~4：在 Zone1 前期 *Eunotia monodon* 與 *Gomphonema gracile* 為競爭關係，而 *Eunotia monodon* 比例較多推測此時期早期鴨池水質較為清澈。在後期可能發生一大量降雨事件，*Gomphonema gracile* 大量增加 *Eunotia monodon* 大量減少反映水質變差， β -diversity 與其他指標的變化也反映此一事件。在 Zone2 *Eunotia implicata* 有一明顯低值發生，取而代之的是 *Gomphonema gracile* 增加佔據優勢，同時矽藻圖譜中的 *Gomphonema gracile* 與 *Eunotia minor*、密度、粒徑與物種均勻度也發生變化。物種均勻度發生劇烈變化可能表示氣候的突然轉變導致矽藻種類組成改變。在 Zone3 時期 β -diversity 數值上升矽藻種類單一化推測鴨池此時發生優養化。在 Zone4 時期 *Eunotia bilunaris*、*Pinnularia microstauron* 與 *Pinnularia brebissonii* 的突然增加以及 *Gomphonema gracile* 與 *Eunotia minor* 的突然消失推測可能有事件發生，但密度以及粒徑並未有太大變化表示並非降水事件。而從對七星山附近竹仔湖之考古研究中發現，從清乾隆初年便有漢人在七星山腳下竹子湖開墾。

另外將資料整合為圖表並與其他北台灣古氣候研究中的數據進行比對，發現在前中世紀暖期(pre-WMP) Southern Oscillation Index 的變化能夠反應在矽藻族群的變化上。在中世紀暖期溫度上升，鴨池降雨減少導致其沼澤面積減少、湖水開始優養化。比對中發現鴨池的矽藻研究能夠與其他地點的降雨趨勢相動應並且矽藻能夠很好的捕捉降雨增加信號。並驗證先前研究中南方震盪與全球溫度的變化對北台灣的颱風路徑等影響。

國立中正大學/汪良奇
地球與環境科學系碩士班 1 年級
chen10372@gmail.com

Local Site Effect and Evidence of Fault Invasion in an Active Mud-Diapir Region from Dense Microtremor Measurements: A Case Study in Gunshuiping, Taiwan Region

Jyun-Yan Huang¹, Che-Min Lin¹, Kuo-En Ching^{*2} and Chun-Hsiang Kuo^{1,3}

(1) National Center for Research on Earthquake Engineering, Taiwan、

(2) Department of Geomatics, National Cheng Kung University,

Taiwan、(3)Department of Earth Sciences, National Central

University, Taiwan

Abstract

Long-term sustained geological disasters were frequently found inland within an active mud-diapir region. Clear identification of spatial influence range of an active mud-diapir was exceedingly difficult because its geophysical characteristics were similar with surrounding thick mudstone layers, in particular, it was difficult to identify specific range in a small-scaled evaluation within several hundred meters interval. The resolution scales were usually in kilometer level or larger for most of geophysical or geological surveys such as gravity anomalies or seismic exploration methods. We perform high dense microtremor measurements with a smallest spatial interval of approximately 25 meters in a well-known Gunshuiping mud volcano region, Taiwan. The resultant frequency dependent amplification maps of horizontal to vertical spectral ratio of microtremor (MHVR) indicates a Northwest-dipping oblique underground layer structures dominate site responses in this region and a special rock-like (without a clear dominant frequency) feature unexpectedly appears and concentrates in the middle of the region within a 400-meter range closest to the volcano vent of mud-diapir. However, the focusing region of significant spectral differences in MHVR does not show a substantial change in shallow shear-wave velocity (V_s) structures from surrounding region resolved by microtremor array measurements (MAM). The fundamental difference of physical causes between MHVR and MAM methods is that the former one was focusing on resonance of underground structures induced by layers with high V_s impedance, and the latter one was derived from surface wave dispersion. The main findings of the rock-like spectral shape are caused by uplift intrusion motion of high-density and high-pressured mud that filling underground cracks and reduce V_s impedance in a relatively small zone but did not influence surface wave through entire layered features for a larger range. The special distribution of mud-diapir resulted in a sudden change in MHVR but no significant change in inverted V_s from MAM, and could be used as a convenient tool to identify specific influence region within an active mud-diapir zone. Finally, an evidence of fault invasion is found from a NE-SW striking linear feature by a joint consideration of distribution map of the rock-like MHVRs, contour maps of frequency dependent MHVR and dense V_s structures, which might correspond to the Chekualin fault in Taiwan.

應用機率式與定值式地震危害分析技術探討南部科學 園區地震危害潛勢

謝銘哲¹、詹忠翰^{1,2}

(1) 國立中央大學地震災害鏈風險評估及管理研究中心、(2) 國立中央大學地球科學學系

摘要

臺灣西南部區域地震頻仍，根據歷史文獻記載，臺南、高雄地區發生災害性地震不在少數，並經常造成重大傷亡，倘若該區域斷層或孕震構造於近期錯動，引發地震將直接對人民生命財產、關鍵基礎設施，甚至產業群落構成災害威脅。台灣地震模型組織分別於2015與2020年提出地震危害圖，指出未來50年內，臺灣西南部遭遇大規模地震並引致高震度衝擊之可能性較本島其他區域為高。本研究即基於臺灣地震模型組織研究成果，擇定臺灣南部關鍵科學園區進行細緻化分析。前期先以地震工程領域常用之機率式地震危害度分析(probabilistic seismic hazard analysis, PSHA)技術，以建廠使用50年為目標年限，探討年限內可能遭遇地震動衝擊，並以參數拆解(disaggregation)分析可能引響園區地震動關鍵因素為何；而後納入定值式地震危害分析(deterministic seismic hazard analysis, DSHA)技術，透過近期計算地震學所發展之數值模擬技術，將不同震源破裂模式、三維地殼速度構造模型、場址條件等因素納入考量，模擬震波傳遞效應對於科學園區地震動之影響，進而輔助機率式方法在認知不確定性(epistemic uncertainty)方面之不足。本研究闡述以機率式與定值式地震危害度分析技術，分析南部關鍵科學園區將面臨之地震危害衝擊，成果除可協助公部門規劃適宜運用於產業園區之土地使用與減災策略外，亦可提供私人企業針對目標工址進行結構物動態分析之參考，防範地震災害於未然。

應用交易成本理論比較各國因應地質災害之土地使用規劃策略

鄭皓騰

我國因震災死亡人數占所有災害約 79.49%，過去因其造成的龐大經濟損失難以估量，因此於我國現行全國國土計畫中被受關注。地質災害的特殊性在於，從是否會發生、造成的損害項目到損害程度皆存在機率性外，其帶來的損失又比其他類型災害來的嚴重。面對因具不確定性風險下，各國政府於土地使用規劃過程中面臨相當大的挑戰。若著眼於土地開發角度上，從協商前的環境評估成本、土地開發規劃成本，協商中的決策成本與審查成本以及協商後的執行成本等，皆代表各國於土地使用規劃策略中對地質災害風險分配下不同角色之責任歸屬。

各國因應地質災害的土地使用規劃策略上，包含地質災害風險資訊揭露、土地使用管制研擬、風險區劃定等不同層面，例如紐西蘭威靈頓則以空間計畫方式研擬土地使用管制，避免或降低於斷層帶之開發強度；美國《地震災害套疊法案》規範於土地交易中須充分告知風險資訊，透過劃出斷層帶，規定在範圍上的開發案須提出地質探勘、建築物耐震工程報告；奧地利災險控管計畫即是經由政府調查，劃定不同等級的災害風險地區劃分，區域內允許申請許可開發，但具不同規範程度之附帶條件，要求開發方提出合理之建築利用與強化設計，使開發方對於相關風險自行負擔。最後，我國土地規劃因應地質災害的策略，以開發建築相關法規的修訂為主要作法，多是以從加強結構安全層面切入，另少數有如豐原與霧峰都市計畫，劃設斷層帶兩側 15 公尺禁限建區。

綜上所述，本研究目的應用交易成本理論為框架下進行跨國案例之比較，包含美國、日本、紐西蘭、澳洲等。透過分析不同的土地使用規劃策略內容，比較各國中央政府、地方政府與開發商不同角色探討各國對於地質災害的風險分配與責任歸屬。期許透過國外案例分析的爬梳與整理，提供我國於現行空間規劃制度上的策略建議。

Interseismic slip rate and fault geometry along the northwest Himalaya

Yogendra Sharma¹, Kuo-En Ching¹, Sumanta Pasari²

(1) Department of Geomatics, National Cheng Kung University, Taiwan, (2) Department of Mathematics, Birla Institute of Technology and Science, Pilani, India

Abstract

Geodetic networks enable us to investigate interseismic crustal deformation along the northwest Himalaya. Using 94 GPS surface velocities in a Bayesian inversion model, we estimate slip rate and fault geometry of the Main Himalayan Thrust (MHT) along six arc-normal transects in the northwest Himalaya. The MHT is found to be completely locked from the surface down to a depth of 6 km to 9 km. The locking-to-creeping transition zone along the decollement extends from the edge of the fully locked area to a deeper depth (13 km) to the tip of the creeping zone of the MHT (19 km) with a slip rate of 1.6 mm/yr to 2.7 mm/yr. The deeper part of the MHT is inferred to be creeping with an average slip rate of ~19.1 mm/yr along the northwest Himalaya. Modeling results, such as locking depth and locking-to-creeping transition zone show a good agreement with observed seismicity in the study region. We compare single-fault modeling results with a splay-fault model that enables distributed slip rate of the decollement at the locking-to-creeping transition zone. The updated fault kinematics inevitably contribute to the improvement of seismic hazard evaluation along the northwest Himalaya.

(1) National Cheng Kung University, Tainan, Taiwan / Prof. Kuo-En Ching

(2) Postdoctoral Student

(3) yogenmaths2738@gmail.com

以 2015 年至 2019 年之雷達影像應用 PS-InSAR 技術分析

宜蘭平原地表變形之特性

曹博涵¹、胡植慶¹、饒瑞鈞²、邱俊穎¹

(1)國立臺灣大學地質科學系、(2)國立成功大學地球科學系

摘要

位於臺灣東北部的宜蘭平原，被認為是沖繩海槽西南尖端於臺灣的延伸，位處沖繩海槽張裂與琉球島弧隱沒帶之間的過渡。根據過去的地體構造解釋，宜蘭平原內的構造活動除了被認為與沖繩海槽的活動張裂相關以外，亦有向東往琉球隱沒帶的橫向脫逸(lateral extrusion)。由於整個宜蘭平原被厚層沉積物覆蓋，無法經直接調查獲得基盤上的活動構造特徵，需要藉由地震資料與大地測量等間接方式了解此區域內的構造活動特性。

本研究中，應用了永久散射體差分干涉(Persistent Scatterers InSAR, PS-InSAR)技術分析多時期合成孔徑雷達(Synthetic Aperture Radar, SAR)影像，以 2015 年至 2019 年間 C 波段 Sentinel-1 衛載 SAR 影像進行分析，並輔以 GNSS 測站資料校正，以探討宜蘭平原內地表變形的長期特性。更進一步，由於 Sentinel-1 在同一地區內提供升軌與降軌兩個不同的觀測方向，可利用兩個不同觀測方向所得的視衛星(Line of Sight, LOS)方向速度，解算出東西向與垂直向的地表變形場，是為 2.5D 變形場。

根據 PS-InSAR 分析得出的平均速度場中，整個宜蘭平原，相對於 GNSS 連續站 TUCN，2015 年至 2020 年間，宜蘭平原在升軌方向上的 LOS 方向速度為-20~-5 mm/yr；在降軌方向的 LOS 速度為-20~5 mm/yr。根據東西向與垂直向速度的解算成果，宜蘭平原約以 0~20 mm/yr 向東位移，量值由北往南遞增並在位於平原南端的蘇澳達最大速率；垂直方向上，宜蘭平原以 5~15 mm/yr 持續沉降，在宜蘭市區與羅東皆有 15 mm/yr 的沉降中心。

藉由 PS-InSAR 分析與解算所得之地表變形場，整個宜蘭平原的地表變形以蘭陽溪為界，可大致區分成以向東位移為主帶有沉降的南部變形區，與以沉降為主的北部變形區。南部變形區的向東位移主要來自於橫向脫逸，較高位移量分布於宜蘭平原南部濁水斷層與三星斷層通過的區域；北部變形區的沉降，初步判斷是來自於沖繩海槽的活動擴張一直往西南方到宜蘭平原內的延伸。

中文關鍵字：PS-InSAR，宜蘭平原，地體構造活動

英文關鍵字：PS-InSAR，Ilan Plain，Tectonic activity

池上地震網 AI 近即時地震活動觀測

黃俊銘¹、張立衡¹、潘勝彥¹、孫維芳¹、張以昕¹、莊永裕²、
古進上³、紀宗志³、傅慶州³、郭陳澔¹

(1) 國立臺灣大學地質科學系、(2) 國立中央大學資訊工程學系、
(3) 中央研究院地球科學研究所

摘要

池上斷層多維度觀測計畫 (MAGIC, Multidimensional Active fault of Geoinclusive observatory Chihshang) 內的池上微震觀測網，正好近距離捕捉到 2022 年 918 地震的 Mw6.5 關山前震和 Mw6.9 池上主震，為了消化龐大的資料量，本研究利用 SeisBlue AI 地震監測系統實現了近即時的地震微震觀測，僅在兩天內就完成了 1,223 筆的餘震序列速報。工作流程包含：即時資料接收、資料預處理、自動挑波、自動定位、地震事件儲存與結果出圖，最後經過人工確認發布結果。

SeisBlue AI 地震監測系統為台大構造地震研究室(SGYLAB) 自主開發，這個系統的核心理念在打造模組化的深度學習軟體，以降低研究人員所需的門檻，並讓他們專注於更有價值的研究分析。平台包含下面主要的模組：資料庫用戶端、資料檢視、資料轉換、模型訓練、模型評估與到時關聯定位等主要模組，並提供多個選項供使用者自行組合與置換。

在災難性大地震發生後，快速釐清災損的範圍以便規劃後續一系列的工作。在這樣緊急的情況下，使用逐漸成熟的 AI 系統，就能放大研究人員的產能，快速完成大量微震的定位，即時掌握孕震構造的活動狀況。

關鍵字：地震觀測、自動挑波、深度學習、SeisBlue、MAGIC

Keywords: Seismicity Monitoring, Auto Picking, Deep Learning, SeisBlue, MAGIC

池上微震觀測網及2022年Mw6.9池上地震序列

孫維芳¹、潘勝彥¹、黃俊銘¹、古進上²、紀宗志²、黃柏壽²、傅慶州²、
郭陳濤¹

(1)國立臺灣大學地質科學系、(2)中央研究院地球科學研究所

摘 要

池上微震觀測網為池上斷層多維度觀測計畫 (MAGIC, Multidimensional Active fault of Geo-Inclusive observatory Chihshang) 項目之一, 透過深度學習套件SeisBlue建立近即時微震目錄, 監測池上斷層周圍地震活動, 以期解析地震孕育與深度流體循環的關連。SeisBlue為台大構造地震研究室經過近五年開發的AI地震監測系統, 發展目的是提供完整資料串流與處理模式, 以模組化方式進行串流, 可加入或抽換不同AI演算法, 不需改變系統架構, 運作彈性大。由於池上地區周圍40公里見方內缺乏固定短週期或寬頻地震站, 對池上地區微震活動觀測解析度有限, 因此在2021年11月底新設置五個寬頻地震站, 期間陸續克服資料傳輸問題及確認測站穩定性, 並在2022年6月底全數改為即時傳輸。在2022-09-17Mw6.5關山前震及隔日的Mw6.9池上主震發生後, SeisBlue利用即時傳輸的波形資料, 快速偵測出39小時內, 共1,223筆地震位置與餘震發展方向, 發佈於網路平台, 供災防單位用於救災評估及研究人員規劃後續調查工作之參考。池上主震發生後, 由於餘震分別逐漸往南向鹿野及往北向玉里瑞穗移動, 遠離池上寬頻地震網範圍, 因此增加網外50公里內中研院地球所臺灣寬頻地震觀測網(BATS) 九個即時測站資料, 以獲得足夠的測站包覆, 利用SeisBlue建立近即時AI地震目錄, 9月1日至9月25日期間, 共偵測到28,168個地震, 有效定位其中的4,257個地震。結合池上及中研院地球所兩個寬頻地震網的即時波形資料, 透過SeisBlue深度學習地震監測系統, 不僅實現近即時AI地震目錄的建立, 更獲得完整池上地震前震-主震-餘震序列的震源演變時空分布。

關鍵字：池上微震觀測網、深度學習、SeisBlue、近即時AI地震目錄、池上斷層多維度觀測計畫、MAGIC

Keywords: Chihshang micro-seismic monitoring network, deep learning, SeisBlue, near real-time AI earthquake catalog, Multidimensional Active fault of Geo-Inclusive observatory Chihshang, MAGIC

池上斷層近斷層帶受到 0918 地震活動特性初探

牟鍾香¹、傅慶州¹、童忻¹、郭陳浩²、朱傲祖^{1,3}

(1) 中央研究院地球科學研究所、(2) 國立台灣大學地質科學系、(3) 中央大學應用地質研究所

摘要

池上斷層全線 60 多公里呈現北北東走向的逆衝斷層，根據地調所頒布的活動斷層報告，歸類於第一類活動斷層，斷層上下盤岩性是利吉層逆衝到全新世沉積物，沉積物來源包含中央山脈與海岸山脈，些許為海岸山脈山崩產物，地表線性構造明顯，從花蓮縣玉里鎮，沿著海岸山脈與縱谷地形交界處，直到台東利吉惡地，留下斷層崖、河階地等地形特徵。為瞭解池上斷層近地表更細緻的活動行為，本團隊在 2022 年九月初於池上鄉萬安國小架設 GNSS 監測網，安裝四站 GNSS 橫跨上盤到下盤約 100 公尺的距離，記錄到 0918 地震之同震位移以及震後位移。以同震位移資料顯示，上盤到下盤四站都是往西南方向移動，最大水平同震位移量可達 30 公分，遠大於 2003 年成功地震在池上造成的同震位移錯動量，校內災損嚴重，而震後位移方向轉為西北方向，累積至 2023 年二月底，池上斷層上盤兩組 GNSS 測站震後水平方向大約移動 6-8 公分，下盤兩組 GNSS 測站在地震發生一個月後逐漸趨於穩定。

但以池上斷層近 30 年的地表測量以及岩心研究顯示，池上地區活動性最高的主要斷層為池上斷層，且在萬安村地區近地表 100 公尺內以近乎 70 度的角度存在，在錦園區的潛變儀監測網記錄到季節性活動特性，而這次同震位移方向往西南移動，與以往觀察到的池上斷層滑動方向並不一致，而沿著 0918 地震造成萬安村地表破裂，雖沿著構造線發展，也有不少破裂位於上盤偏東位置。而位於上盤的 GNSS 測站，其震後位移方向非常接近池上斷層滑動方向，位於下盤的測站也在震後一個月內趨於穩定，推論縱谷在池上地區靠近海岸山脈這一側，除了活動性高的池上斷層以外，淺層應另有斷層系統或池上斷層分支發育至縱谷中，而 0918 地震觸動池上斷層，在這一次乾季中也持續釋放能量。

中文關鍵字：池上斷層、同震滑移、震後滑移

Soil gas degassing and hydrogeological changes before and after the 2022 M6.8 Chihshang Earthquake in eastern Taiwan

Ching-Chou Fu¹、Kuo-Hang Chen¹、Kuo-Wei Wu¹、Huey-Cheng Lee¹、
Chung-Hsiang Mu¹、Hao Kuo-Chen²

- (1) Institute of Earth Sciences, Academia Sinica、
(2) Department of Geosciences, National Taiwan University

Abstract

A magnitude 6.6 earthquake occurred on September 17, 2022, followed by a magnitude-6.8 mainshock struck approximately 17 hours later on September 18, 2022, along the southern Longitudinal Valley in east Taiwan, the boundary between the Eurasian and Philippine Sea plates, causing serious damages of buildings and the surface. An advanced monitoring infrastructure - MAGIC (Multidimensional Active fault of Geo-Inclusive observatory - Chihshang) was planned to investigate the origin and migration of the fluids and their relationship to the seismogenic processes occurring along the Chihshang Fault (CSF). Soil gas surveys (gas species and flux) were performed to investigate the gas-bearing properties of local seismogenic faults together with multi-parameters hydrogeological monitoring of the fault zone in the borehole around the CSF before/after these earthquakes. Recorded soil radon and hydrogeological data (e.g., pH, groundwater temperature, chloride) showed the significant changes that preceded around one month the major earthquake. Furthermore, a higher value of CO₂ flux in the area was found after the earthquake, which may be interpreted as an extra contribution of the gas sources from depth, or the increased permeability of the fault system to allow them to migrate toward the surface. The findings of this study reported the possible precursory changes from deep to surface, caused by the mixture between the different chemical concentrations/fluid reservoirs from groundwater and surrounding formations through water-rock interaction, which may be associated with pre-seismically induced changes of permeability or opening of preexisting micro-fractures along the fault zones.

以反向投射法成像震源自動定位地震—以台灣地震網為例

黃柏壽¹、古進上¹、林欽仁¹、江準熙²、陳燕玲²、陳國昌²

(1) 中央研究院地球科學研究所、(2) 中央氣象局地震測報中心

摘要

地震定位流程通常以摘讀地震波到時為先，簡化地震資料量，透過計算理論走時與觀測之差異，進行走時反演確認震央位置。雖然為了適應區域性的差異及優化速報作業，定位系統會對現有的地震定位電腦程式做適度的修正，基本上處理方式仍不脫離需先行摘讀地震波到時，然後再進行地震定位的模式。當今地震網，以台灣島為例，地震站具高密度空間分佈、地震儀具高分辨率及即時傳輸功能，所提供密集地震波陣列資料已為多項地震學議題所使用。本研究主題將就現有高密度天然地震資料提出另一種具體附加應用。本研究將經由資料處理成像地震源，在不通過摘讀地震波相到時步驟，直接進行地震定位。本研究採用的方法為地球物理探勘採用於震波成像的逆時移棲法 (Revised-Time Migration Method) 的簡化版。概念為略過傳播過程的能量耗散計算，反向投射地震波能量至震源位置、經由評估三維空間之疊加震波能量密度分佈判定地震源，定名為反向投射法(back-projection method)。本研究以收集之台灣即時地震站資料為例，經由建構之電腦程式進行地震定位，成功複製中央氣象局速報網地震定位結果。經由系統性測試，本方法定位地震網內之事件皆具有良好定位結果。由於反向投射法只需輸入少量地震資訊即可逕行地震自動定位，具備強震即時警報應用之可能。另現代地震網測站密度持續增加及電腦運算能力的快速提升，將來反向投射法透過適當的優化與修訂，將可實現更多的地震學應用。

關鍵詞: 反向投射法、地震自動定位、震波到時、能量疊加、台灣地震網

Keywords: Backward projection, Earthquake auto-location, seismic arrival time, Energy stacking, Taiwan seismic network

再探大屯火山地區流體上升現象

Ascending volcanic fluid in the Tatun Volcano Group, northern
Taiwan (II)蒲新杰¹、林正洪^{2,3,4,5}、李曉芬^{3,5}、賴雅娟^{3,5}、史旻弘^{3,5}Hsin-Chieh Pu¹, Cheng-Horng Lin^{2,3,4,5},Hsiao-Fen Lee^{3,5}, Ya-Chuan Lia^{3,5}, and Min-Hung Shih^{3,5}

(1) 中央氣象局

(2) 中央研究院

(3) 大屯火山觀測站

(4) 國立臺灣大學

(5) 國家地震工程研究中心

因為大屯火山在地理位置上的特殊性，因此關於大屯火山的火山研究顯得格外重要。近來關於大屯火山活動的研究報告，不但數量越來越多，種類也漸廣。當大屯火山的活動性不再受到強烈懷疑的此刻，觀測火山活動的工作就變得相對重要。而火山活動當中，最重要的觀測項目，當屬監測火山流體的上升。根據過去的研究，大屯火山地區的火山流體上升已可透過地震活動的破裂特性變化進行研判。本研究將沿用此方法，將 2018 至 2021 年間的大屯火山地震，以三維速度構造進行雙差分定位，再以初動資料反推地震的震源機制。並將地震進行空間分層，分別計算不同空間中，各種震源機制的發生機率，再探討可能因火山流體上升而產生之相對應震源破裂特性變化的現象。分析結果發現，自 2020 年下半年開始，火山流體似乎再次進入上升的階段。配合大油坑火山噴氣的地球化學觀測資料，推測此次的火山流體上升行為的強度，可能尚不如 2014 至 2016 年間的火山上升行為強烈。利用 2014 至 2016 年間與本次研究偵測到的 2020 年下半年後的火山流體上升案例，我們進一步探討了火山流體上升可能伴隨的其他地球化學觀測指標，期望能藉此建構一個“啟動警戒”的深部指標(地震破裂行為特性)與“覆核確認”的淺部指標(地球化學特性)。

關鍵字：大屯火山，火山上升流體，震源機制，大油坑，火山噴氣

Key words: Tatun Volcano Group, ascending volcanic fluids, focal mechanisms, Dayoukeng, fumarolic gases

獲得高精度地震定位的挑戰與解決之道-以雲嘉地區為例

High-Precision Earthquake Location in Yunlin-Chiayi Area -
Challenge, Solution and Future Work

林怡伸¹、王維豪¹、葉玉蓮¹、溫士忠¹、陳朝輝¹、黃蕙珠¹、石瑞銓¹、陳映年¹

(1)中正大學地球與環境科學系

摘要

高精度地震定位及其震源機制可以使我們獲得更明確的地下孕震構造，因此密集測站網的布置、準確的地震事件與P波及S波到時挑選、精準的地下速度構造缺一不可。

中正大學團隊於2020年11月至2021年01月在雲林古坑至嘉義梅山架設了密集地震網，並利用EQTransformer機器學習模型辨識這三個月以來的地震事件與P波及S波到時。我們發現機器學習模型雖然能快速並大量的挑選出地震事件與波相到時，但同時衍生出另一個問題：挑選數量過於龐大以致無法以人力做品質管控。儘管有許多微調的手段可以提高機器學習的精確度，但目前尚無任何機器學習可以做到完全無誤。透過密集測站網我們發現機器學習模型在地震事件辨識上會產生缺漏，以及在挑選直達波到時上會出現偏移。

對於到時上的偏移，我們發展出一套後處理方法—EQAID，它結合了波動的極性、離散穩定小波轉換、以及變異數波動比去得到更加精確的直達波到時，且使我們可以得到準確的P波上下動。我們同時利用機率密度函數計算的NonLinLoc獲得初步定位結果，再將相同測站、不同事件的波形進行交叉相關分析後，用GrowClust3D.jl進行相對定位，以獲得精確的定位結果。未來的工作包含對訓練資料集的清埋與擴充，標示方法的改善與特徵擷取，以及比較各種不同機器學習模型的優劣點，以期建立新的模型或改進既有模型。我們也希望利用地震的分布在速度模型上建立不連續面，達到更接近地質的狀況，進而改善地震定位品質。

中文關鍵字：高精度地震定位、密集地震網、機器學習、後處理方法

Syn- and pre-orogenic deformation in the Taiwan foreland basin inferred from two-layer modeling of crustal anisotropy using Bayesian inversion

Ban-Yuan Kuo¹, Cheng-Chien Peng², Kenn-Ming Yang³

(1) Institute of Earth Sciences, Academia Sinica, (2) Department of Earth Sciences,
National Cheng Kung University, Tainan, Taiwan

Abstract

Shear-wave splitting measurements reveal path-integrated deformation but remain ambiguous when separating anisotropy with depth. To increase the depth resolution, we employed a Bayesian inversion with a two-layer anisotropy model for a set of splitting measurements in the foreland of the Taiwan orogen. To suppress the strong tradeoff between the two layers, the upper layer is constrained by a prior function reflecting the GPS-derived maximum horizontal contraction direction, with a fast direction centered at N115E. Allowing small deviations from the polarization azimuth of the shear wave, the lower layer is resolved with fast direction striking approximately east–west. The lower layer fast direction is consistent with the presence of high-angle normal faults cutting into the pre-Miocene basement inherited from the rifting tectonics in the continental margin. The combined present-day, convergence-dominated deformation and fossil continental margin structures constituted the foreland architecture before it further underthrust the Taiwan orogenic wedge. Our approach with a small polarization deviation may prove useful in unraveling weak vertical variations in the anisotropy.

A b-value precursor before the 2018 Hualien earthquake and its implication of preslip

Sean Kuan-hsiang Chen, Po-Yuan Chen, Yih-Min Wu, Chien-Chih Chen, Chung-Han Chan

Abstract

Recent studies in the earthquake magnitude-frequency relation (b-value) found that the b-value can decrease with time before large earthquakes in the source area. Such a decrease even coincided with a burst of foreshocks immediately before the earthquakes implying a preslip migrating toward the nucleation zone. We systematically survey the b-value variations in space and time in the source area of seventeen earthquakes with magnitudes greater than M_L 6.0 in Taiwan. We relocated the earthquakes released by the Central Weather Bureau of Taiwan since 2012 as timing can provide a sufficiently low completeness magnitude (M_C) of 1.5. We carefully determine the spatiotemporal search criteria on seismicity in the source area of all targeted earthquakes. We surveyed the temporal b-value systematically using moving time windows with a given number of earthquake events with the magnitudes greater than M_C . We found the b-value decreased clearly for two days before the 2018 M_L 6.3 Hualien earthquake, coinciding with a burst of M_L 5.8 earthquake and its aftershocks nearby as foreshocks. The foreshocks migrated updip toward the hypocenter of the 2018 M_L 6.3 Hualien earthquake and revealed a second decrease in the b-value ten hours before it occurred. The b-value precursor primarily comes from a rapid reduction of small earthquakes in the foreshocks and agrees with recent key findings of preslip. However, there is no strong correlation between the b-value precursor and coseismic slip. Apart from this, the b-values did not change significantly in most cases of earthquakes in Taiwan before and after they occurred.

3D Near-surface to Upper Mantle Taiwan Reference Model Constrain by 1D/2D profiles and Empirical Vp-Vs Relationships

How-Wei Chen¹, M. Syahdan Akbar Suryantara¹

¹ Inst. of Geophysics, Dept. of Earth Sciences, Natl. Central University, Taiwan, R.O.C.

Conventional Travel-time tomography based on earthquake data cannot resolved strong Vp and Vs changes within 1 km depth. Limitations on incorporating near-surface effects, cumulative picking errors and linearized inversion are the primary concerns. Years of passive source tomography suggested limited low resolution 3D distribution beneath Taiwan Island. Results revealed non-uniqueness and inconsistent models estimations among different published inversion studies. Potential uncertainty could mainly cause by different initial 1D/3D reference models even same or similar inversion algorithms are implemented. Seeking alternative approach with the goal to establish a consistent and well evaluated reference model become an important issue. For model setup within 1km depth, 1D models derived from HVSN inversion, CPC well-logs and PS-logs measurements were used to constraints near-surface elastic parameters. Regional velocity model is established primarily based on all available active source tomographic studies. 2D velocity profiles obtained along crooked linear array provide better constraints with much better and more acceptable travel-time error varies within the order of 10^{-1} seconds. 3D spatial interpolation by integrating all available 2D profiles from TAICRUST, TAIGER and AtSEE long-offset experiments were performed through two step process. First, the spatial covariance structure of the sampled points is determined by fitting a variogram. Second, weights derived from this covariance structure are used to interpolate values for un-sampled points or blocks across the spatial field by kriging. The interpolation approach differs from simple methods like inverse distance weighted, linear regression or Gaussian decay. All the interpolated values are the optimal unbiased predictor. Reconstructed initial 3D model reveal consistent Moho features from previous RF study. Unified Vp-Vs relationships can be established by assimilating shallow and regional elastic models.

Key words: Vp-Vs relationship, Kriging, Variogram, Taiwan Reference Model, 3D, Initial Model

Data Augmentation Skill for Deep Neural Network of Two-Station Spectrogram Model in Landslide Research

Jui-Ming Chang, Wei-An Chao

Department of Civil Engineering, National Yang Ming Chiao Tung University, Taiwan

Abstract

Data augmentation is a crucial method to expand datasets and improve the deep neural network's (DNN) performance. The augmentation algorithm involves various techniques, such as geometry transformation and image adjustment parameters modification. As a result, DNN with data augmentation would like to answer a question- how quickly DNN trains a robust model for warning purposes? To address an issue, we took spectrograms from the Daman landslide and involved two critical steps in gaining more data: vertical contact spectrograms and time-shifting for spectrograms. Firstly, each component's spectrogram from two stations can be merged as an image; thus, night contact spectrograms have been created for a specific moment. Secondly, since seismic signals are time-series data, their spectrograms of power spectral density in time and frequency reflect the post-failure landslide's dynamic process. The specific patterns are allowed only to do horizontal shifting of data augmentation. Thus, the distinct spectrogram feature can be freely shifted in a fixed time window. Both steps support generating over a hundred images of two-station spectrograms for a single event. Further, past earthquakes from other locations where two stations were nearby with an approximately 350-meter elevation difference were included to establish earthquake-label data because insufficient earthquakes causing an imbalance data issue would affect the DNN model's performance. According to the above procedure, the results showed that merely one to two hundred post-failure landslides with vertical contact spectrogram and data augmentation processes are sufficient to set up a reliable model for the application.

Keywords: Deep Neural Network, Data Augmentation, Spectrograms, Two-Station Model

Ground motion model using Deep Neural Network in Taiwan

Jia-Cian Gao¹, Chung-Han Chan^{1,2}, Kuo-Fong Ma^{1,3}

1. Earthquake-Disaster and Risk Evaluation and Management (E-DREaM) Center, National Central University, Taiwan
2. Department of Earth Sciences, National Central University, Taiwan
3. Institute of Earth Sciences, Academia Sinica, Taiwan

The traditional ground-motion model (GMM) select a functional form and determine it based on nonlinear regression. The forms from this method, however, sometimes cannot fully explain all natural effects due to human limitations. To better approximate complex nonlinear ground motion behaviors, this study aims to establish a GMM using a deep neural network (DNN). In order to train our DNN model, we implemented parameters including moment magnitude, rupture distance, and S-wave velocity down to the depth of 30 meters (V_s^{30}) obtained by the Taiwan Strong Motion Instrument Program database from 1991 to 2014. Using magnitude-distance cutoffs, all analyses are ensured to be well within the reliable range. Our approach first adjusts the model's hyperparameters to determine the DNN's setpoints. After testing, we set learning rate of 0.001, epoch of 6000 times, batch size to a size that covers all data sets, and the network with 5 layers and 90 neurons for each layer. Comparing to multiple neural networks, a single neural network is more stable and has a period dependence in predicting multiple ground motion parameters. Oversampling is implemented to solve the flaws caused by imbalanced data in the model. Lastly, ensemble learning is performed under multiple independent trainings to improve the final model's stability and performance. As a result of the training, A DNN model fits nonlinear ground motion models well, and the model converges effectively, that is, a coefficient of determination between 0.87 and 0.92, and a standard deviation between 0.62 and 0.70. In general, Our GMM is stable and reasonable, with the exception of the interval with less data, and it is able to predict the ground motions in the forms of PGA, PGV, and full response spectrum (0.01 to 10 seconds), as well as to measure the credibility of the validation indexes.

RockNet: Rockfall and earthquake detection and association via multitask learning and transfer learning

Wu-Yu Liao¹、En-Jui Lee¹、Chung-Ching Wang¹、Po Chen²、Floriane Provost³、
Clément Hibert^{3,4}、Jean-Philippe Malet^{3,4}、Chung-Ray Chu⁵、Guan-Wei Lin¹

(1) Department of Earth Science, National Cheng-Kung University, Taiwan、(2)
University of Wyoming, Laramie, Wyoming, U.S.A、(3) Institut Terre et
Environnement de Strasbourg (ITES), CNRS UMR 7063 - Université de Strasbourg,
5 rue Descartes, F-67084 Strasbourg, France、(4) Ecole et Observatoire des Sciences
de la Terre (EOST-OMIV), CNRS UAR830, Université de Strasbourg, 5 rue
Descartes, F-67000 Strasbourg, France、(5) National Science and Technology Center
for Disaster Reduction, Taiwan

Abstract

Seismological data can provide timely information for slope failure hazard assessments, among which rockfall waveform identification is challenging for its high waveform variations over different events and stations. With recent advances in deep learning, we develop RockNet, which inputs three-component seismograms and vertical-component spectrogram from multiple stations and outputs to determine the local occurrences of earthquake and rockfall events. RockNet consists of a multitask single-station detection model and a multitask association model. The single-station detection model can do seismic phase picking and rockfall/earthquake waveform mask computing. The association model determines the local detection of rockfall and earthquake events by transfer learning the pre-trained single-station detection model representations of multiple-station data. With about 400K additional training data of earthquakes and non-seismic data, RockNet was trained and tested in a 7:3 ratio on 348 rockfall events, 193 car-induced events, 280 engineering signals, and 1,834 earthquake events collected from the local seismic network in the Luhu tribe, Miaoli, Taiwan, achieving a macro F1 score of 0.981 in discriminating earthquakes and rockfalls from other events with the association model. Also, we have examined RockNet on a fully independent dataset of the Super-Sauze unstable slope in France, achieving a macro F1 score of 0.940 in discriminating 355, 357, and 351 events of earthquakes, rockfalls, and anthropogenic/environmental noises with the association model. In general, RockNet performs and generalizes well, and has the potential to perform onsite rockfall seismic monitoring.

Imaging of shallow stratigraphy and fault structures of the Nanjihatao and Southern Taihsi Basin using OBS and MCS data

Yung-Hsiang Su¹, Sebastian Wege², Tan K. Wang¹, Wu-Cheng Chi²

¹ Institute of Earth Sciences, National Taiwan Ocean University, Keelung, Taiwan

² Institute of Earth Sciences, Academia Sinica, Taipei, Taiwan

Abstract

Since 2017, several seismic surveys have been conducted across Taiwan Strait targeting Nanjihatao Basin, Taihsi Basin and Penghu Basin to investigate and reveal mostly sedimentary structure and its geotechnical properties in a foreland basin system. To mention as an application, types and distribution of the faults associated with overall stratigraphy structure in the middle Taiwan Strait have been a necessary site-selecting evaluation for offshore windfarms construction. Here, we are focusing on data retrieved from 8 ocean-bottom seismometers (OBS) and 10 multi-channel seismic (MCS) data across the Nanjihatao Basin and the southern Taihsi Basin collected by NOR2-007 cruise in June 2020. The interpretation of the MCS profiles were integrated to build pseudo-3D models for different unconformities and faulted structures within the basins. The strike-slip faults, interpreted from most of the seismic sections, likely reactivated and are cutting through the very shallow sediment layer during the late Miocene collision (beginning of Orogeny) between the Philippine Sea plate and the Eurasian plate. Further from OBS data, we inverted the P-wave velocity model to a depth of 2.5 km. The uppermost sediment layers are dipping toward southwest having a P-wave velocity of 1.6-3.5 km/s increasing downward to the Break-up Unconformity (BU). Below the BU, the P-wave velocity increases from 3.5 km/s to 4.5 km/s, and the layer lies beneath most of the faults bearing the compacted sediment. Furthermore, from MCS profiles, properties associated with igneous rocks were identified. However, their evolution toward a sedimentary basin still needs further investigation.

關鍵字: 分離不整合面、斷層構造、前陸盆地、P 波速度模型、南日島盆地

Keywords: Break-up Unconformity (BU), Faulted Structure, Foreland Basin, P-wave velocity model, Nanjihatao Basin

發展即時監控程式RDMA監測海洋震源品質

Monitoring Marine Seismic Source by Developing RDMA program

鄧家明¹、陳鼎仁¹、尤柏森¹、葉一慶²、許樹坤²、邱朝聰¹、
余尚學¹、郭芳旭¹、林聖心¹

¹財團法人國家實驗研究院台灣海洋科技研究中心、²國立中央大學地球科學系

摘要

財團法人國家實驗研究院台灣海洋科技研究中心於2015年所引進臺灣首套工業級長支距多頻道震測 (Long-offset Multi-Channel Seismic, 簡稱LMCS) 系統, 搭載固態受波器浮纜與空氣鎗陣列, 其系統所使用的空氣鎗為SECREL公司出產的G. Gun II, 並可搭配不同的混合震源容積(如: 1240 in³與1140 in³等)與平行鎗簇的方式進行探測。為瞭解在航次間空氣鎗震源的品質變化, 藉以維持空氣鎗震源品質, 我們發展即時動態監控主動震源 (Real-time Dynamic Monitoring Active sources, 簡稱RDMA) 程式, 並以2019年之LGD1901與LGD1911航次所蒐集之空氣鎗近場訊號資料進行案例分析。RDMA程式能夠應用於LMCS系統之空氣鎗陣列, 利用P/B (Peak/Bubble)值作為指標, 並使用疊合後的近場訊號來監控空氣鎗震源品質, 可以更簡單明瞭的觀察震源品質的變化, 藉以瞭解空氣鎗的水下作業狀態是否穩定。從案例分析結果得知, LGD1901與LGD1911航次期間, 大部分的震測測線95%以上的P/B值落在兩個標準差值內, 此數據顯示空氣鎗陣列大部分時間的震源訊號品質穩定, 但是沿著LGD1901-01測線作業時仍有不穩定的狀況產生。接著, 我們針對震源訊號品質不穩定的LGD1901-01測線進行象限分析, 可分辨出第三串鎗簇漏氣(第二象限)與時間不同步(第三象限)狀況較嚴重, 需要檢查氣管等零耗件, 而第四串鎗簇可能受到第三串鎗簇漏氣的影響, 導致P/B值較低。因此, 將RDMA程式應用於即時動態監控航次間空氣鎗陣列狀態, 藉以提供穩定高品質空氣鎗震源。未來亦希望能夠應用於其他不同的海洋震源(如: GI Gun或電火花系統等), 提升學研界震測資料的品質, 對於臺灣周遭海域的各種研究目的(如: 沉積構造、能源或地質災害潛勢等調查)提供更清晰的震測影像。

Assessing past climatic oscillations in Pliocene shallow-marine strata using integrated magnetostratigraphy, biostratigraphy, and astrochronology

Amy I. Hsieh^{1,2}, Romain Vaucher³, Christian Zeeden⁴, Ludvig Löwemark^{2,5}, Chorng-Shern Horng⁶, Andrew T. Lin⁷, Shahin E. Dashtgard¹

¹Paleoclimate Records in Shallow Marine Strata (PRISMS) Research Group, Department of Earth Sciences, Simon Fraser University, Burnaby, Canada

²Department of Geosciences, National Taiwan University, Taipei, Taiwan

³Department of Earth Sciences, University of Geneva, Rue des Maraîchers 13, 1205 Geneva, Switzerland

⁴Leibniz Institute for Applied Geophysics (LIAG), Geozentrum Hannover, Hannover, Germany

⁵Research Center for Future Earth, National Taiwan University, Taipei, Taiwan

⁶Institute of Earth Sciences, Academia Sinica, Taipei, Taiwan

⁷Department of Earth Sciences, National Central University, Taiwan

Changes in Earth's eccentricity, obliquity, and precession cause climate change that may be preserved in sedimentary archives. In mid- to low-latitude regions, shallow-marine sedimentary records have been shown to record changes in hydroclimate driven by precession. However, understanding climate variations in the geological past is challenging because many proxies are sensitive to forcings independent of climate. Our study aims to resolve the influences of a rapidly uplifting orogen on climate cycles preserved in shallow-marine strata of the Kueichulin Fm in Taiwan's Western Foreland Basin (WFB) by integrating magnetobiostratigraphy and cyclostratigraphy of gamma-ray data from two boreholes from the Kueichulin Fm. We also compare $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ and magnetic susceptibility records from the Kueichulin Fm to East Asian Summer Monsoon (EASM) records from the South China Sea to evaluate the influence of Taiwan orogenesis on these proxies.

Time-series analysis shows that during the early stages of Taiwan orogenesis (predating 5.4 Ma), preservation of precession signals was low as the Taiwan Strait had not yet formed, leaving the WFB susceptible to erosion by waves from the Pacific Ocean. From 5.4–4.9 Ma, the preservation of orbital oscillations remained low due to low sedimentation rates at deeper water depths, and/or undetectable cycles due to homogeneous lithology. With continued rapid uplift and erosion after 4.9 Ma, the Taiwan orogen became the dominant sediment source to the WFB and shielded the WFB from erosive waves. This, combined with increased basin accommodation, resulted in enhanced preservation of precession signals. The emergence of the Taiwan orogen also significantly impacted EASM records of the northern and central South China Sea, and this is expressed in the sedimentary record wherein proximity to Taiwan corresponds to a decrease in the reliability of EASM proxies.

Keywords: Paleoclimate, Sedimentology, Magnetobiostratigraphy, Cyclostratigraphy, Geochemistry

沉底式水下電探系統之建立與海底電纜調查應用初探

林俊宏¹、陳羿豪¹

(1) 國立中山大學海洋環境及工程學系

摘要

近幾年離岸風電產業在台灣西部海岸進行大規模開發，由離岸電網負責電能的匯集以及輸出，在電網中海底電纜扮演了極其重要的角色，若沒有海底電纜便無法將電力傳輸到陸上電網，由此可知海底電纜的重要性。

海底電纜常常遭到漁船的拖網、船錨以及海洋生物的意外破壞，因此通常設計將其掩埋於海床下至少2公尺降低其受損風險，但此造成運維上的困難。全掩埋之海底電纜檢測主要以磁力儀及底層剖面儀為主，兩者在淺水域因受波浪影響較大，不容易有良好訊號，因此，本研究嘗試使用水下地電阻影像探測法針對全掩埋之海底電纜調查進行可行性評估。

評估方法採用針對已知位置之全掩埋海底電纜於水深約7公尺處進行現地實際量測資料收錄，而後根據反算所得之電阻率影像剖面，比對室內試驗所得之現場海床底質合理電阻率進行現地狀態建模，以數值模擬方法進行參數測試，逐步釐清反算所得影像剖面之反算造成異狀以及現地實際情形，以確認最後可能之現地海床電阻率剖面。

現場量測試驗針對林邊-小琉球海底電纜進行，研究結果顯示，地電阻影像探測法直接用於海底電纜調查受到電纜尺寸過小之原因影響，無法有效探測，但可有效探測出其海纜埋設過程中受到擾動的區域，間接獲得全掩埋海纜之位置。根據試驗過程中的經驗，總結目前在淺水域應用沉底式電探之待解決問題，以利後續推廣應用。

勵進研究船重力/活塞岩心採樣技術進程與岩心品質

管控

尤柏森¹、陳婷婷¹

(1)財團法人國家實驗研究院 台灣海洋科技研究中心

摘要

透過海洋岩心庫之一站式高解析度非破壞性的分析技術與能量，長期提供勵進研究船各類海洋岩心採樣作業之岩心品質QA/QC管控，並持續作為優化勵進研究船岩心與沉積物採樣技術之參考依據，同時確保海洋岩心本身品質更能符合國內學研界海洋地質相關研究分析所需。有鑑於此，針對高屏海底峽谷之高屏陸棚／斜坡區且水深1000公尺以淺的海域，透過勵進研究船三年四測試航次，設定東經120.2度；北緯22.4度此一參考站位重複之活塞／重力岩心採樣作業，共採取3支巨型活塞岩心、4支巨型重力岩心與1支台製型重力岩心。相較於過往航次，LGD-T43測試航次岩心的拉張與變形幅度更趨於嚴重，該變形幅度可達200%以上，這應是於該航次期間首次更換自製活塞所導致。在巨型活塞岩心分析結果的基礎上，透過挑選勵進研究船LGD-T46與LGD-T49兩航次，於同一參考站位（東經120.2度；北緯22.4度）分別進行11公尺巨型重力岩心與6公尺台製重力岩心兩沉積物採樣器測試，以瞭解並評估重力岩心之採樣能量。巨型重力岩心採樣管長度自8公尺改為11公尺，但沉積物長度並無明顯改善，沉積物總長度從328公分增加到390公分。透過多重感應元岩心記錄器分析，於鄰近岩心之非破壞性分析資料比對下，我們亦發現LGD-T49使用新的布放回收系統，回收作業過程中導致LGD-T49航次之岩心頂部沉積物出現20-50公分不等的損失。未來將針對該系統進行調整與修正，以維護樣本之完整性。

Magnetic field fluctuations in Taiwan induced by the Lamb waves associated with the 15 January 2022 Tonga volcanic eruption

Jann-Yenq Liu (劉正彥)^{1,2,3*}, Tzu-Hsun Kao (高子勛)², Tien-Chi Liu (劉天祺)^{1,2}, Bor-Shouh Huang (黃柏壽)⁴, Po-Han Lee (李柏翰)²

¹*Center for Astronautical Physics and Engineering, National Central University, Taiwan*

²*Department of Space Science and Engineering, National Central University, Taiwan*

³*Center for Space and Remote Sensing Research, National Central University, Taiwan*

⁴*Institute of Earth Sciences, Academia Sinica, Taiwan*

At 04:05UT on 15 January 2022, intense Tonga volcanic eruptions induce prominent atmospheric disturbances and tsunami waves. Himawari-8 meteorological satellite images depict the induced upper-level tropospheric disturbances at 8.2 km altitude in the Lamb wave mode travel worldwide. Data retrieved from Center Weirather Bureau show that upon the traveling atmospheric disturbances (TADs) arriving in Taiwan at 11:30UT, 98 ground-based barometers register increases and reach peaks at about 11:50UT in the atmospheric pressure; 28 tide gauges record enhancements and maximums of sea level fluctuations at about 14:30-17:30UT; and a local ionosonde observes that the ionosphere suddenly rises at about 13:00UT and reaches the highest altitude at 14:30UT. Meanwhile, the maximums of sea level fluctuation indicate that tsunami waves arrive in Taiwan by about 16:00UT, which could uplift the ionosphere during 14:00-15:00UT. On the other hand, the changes of the horizontal component of the Earth's magnetic fields measured by 10 magnetometers almost all point exactly toward the Tonga volcano at 11:00-12:00UT. These show that TADs associated with Lamb waves is very powerful, which can induce an intense regional dynamo current over Taiwan and eastern Asia.

台北盆地8千年前的海平面和冬季溫度的再研究 Sea level and winter temperature in Taipei Basin around 8 Ka: ^{14}C dating and stable isotope record

李紅春¹，米泓生²，劉聰桂¹，陳文山¹

(1) 國立台灣大學地質科學系、(2) 國立台灣師範大學地球科學系

摘要

繼2021年台灣地質年會報告台北盆地的巨牡蠣AMS定年研究之後，我們又找出過去用液閃儀(LSC)測量的相關研究樣本的 ^{14}C 定年。這些LSC ^{14}C 年齡中既有測量同一牡蠣的殼體，也有夾在殼體中的草，同時還有兩個在濱江岩心中的貝殼樣本的LSC ^{14}C 年齡。從同一個牡蠣殼中7個不同部位的AMS ^{14}C 定年得到未校正的 ^{14}C 年齡從 7260 ± 106 至 7607 ± 95 BP，不顯示年齡次序。而牡蠣中的草的LSC ^{14}C 年齡為 7260 ± 46 BP (IntCal20校正年齡為 8090 ± 90 cal BP)。這就帶出了淺水牡蠣殼的 ^{14}C 年齡是否需要校正海洋碳庫效應的問題。我們分別用Marine20和IntCal20對7個AMS ^{14}C 年齡進行校正，得到的平均值和標準偏差分別為 7660 ± 96 cal BP和 8283 ± 83 cal BP。用Marine20校正後的牡蠣殼年齡(7660 ± 96 cal BP)明顯比草的年齡(8090 ± 90 cal BP)偏年輕。目前只能將牡蠣殼的年齡定在 $8280\sim 7660$ cal BP之間，代表該海平面形成的時間。根據這些重新校正的 ^{14}C 年齡，台北盆地的全新世海侵在 $8280\sim 7660$ cal BP達到最高，估計比現今的海平面高出1-3米。此時的沉積速率非常快，以至於4-5米厚的沉積層序無法用 ^{14}C 定年區分年齡，這符合海進的沉積特徵。根據304樣本的碳氧同位素分析，這個42公分的巨牡蠣至少生長8年。通過穩定同位素結果估算牡蠣生長時期的冬季(旱季)水溫大約為 $15\text{-}23^\circ\text{C}$ ，比現今台北的冬季溫度($14\text{-}16^\circ\text{C}$)要暖。晚全新世以來這種巨牡蠣在台灣消失，並非因為是氣候暖化的原因。

關鍵詞：台北盆地，早全新世， ^{14}C 定年，巨牡蠣，海平面變化，穩定同位素，表面海水溫度

Keywords: Taipei Basin, Early Holocene, ^{14}C dating, Giant oyster, sea level change, stable isotopes, Sea surface temperature

地質知識漂紮根在地—地質知識學習站設立與精進建議

The Site and Advance of Geology Knowledge Learning Station

莊勝傑¹、古佳慧¹、林建緯¹、劉羽珊²、郭麗秋²、陳政恒²、黃芷馨²、蘇祐鼎²、侯進雄²、

黃柏鈞¹、王豐仁¹

¹臺灣省應用地質技師公會、²經濟部中央地質調查所

Sheng-Chieh Chuang¹, Chia-Hui Ku¹, Jian-Wei Lin¹, Yu-Shan Liu², Li-Chiou Kuo²,

Cheng-Heng Chen², Chih-Hsin Huang², Yu-Ying Su², Chin-Shyong Hou², Bor-Jiun Huang¹,

Feng-Jen Wang¹

¹ Applied Geologist Association, Taiwan、² Central Geological Survey, MOEA

摘要

臺灣擁有多樣的地質景觀，各界對於其形成與演育進行調查研究，累積豐富的研究成果；地質景觀所具備的美學與遊憩價值，成為地方的意象與精神。自101年起將地質知識包裝為地質產品，舉凡地質書籍、影片、互動遊戲、模型或機具、文創產品、展覽品等皆屬之，透過定點及巡迴方式，與相關單位合作陸續於全臺灣北、南、中、東地區辦理「地質與防災特展」，以及桃園國際機場航廈展示「發現臺灣地質之美」與「創意地質旅遊」，並在期間推出「閱讀沙龍」講座，吸引民眾關注、體驗，進而達到學習效果。

大型特展使民眾能有充足時間認識臺灣的地質環境，設計展出之主題、內容與展品在策展過程中猶如進行一次的盤整，也成為後續展示之基礎素材。大型的特展全臺巡迴過後，地質知識展示轉化為以主題式知識與地方性議題，深入地方展出的「地質知識漂」方式，包含行動型「地質行動博物館」、常設型「地質知識學習站」，並研發以規格化的展品「地質百寶鄉（箱）」搭配地質出版品於各地展示，相關服務與措施遍及全臺。

「地質知識學習站（以下簡稱學習站）」透過合作平台機制，與包含簽署合作交流備忘錄（MOU）之大專院校等合作單位，擴展設立學習站，成為地方地質知識傳播的基地。學習站內含與MOU學校共同研發地質百寶鄉（箱），結合

地質出版品，以全臺灣為展示場域。首站設立於國立宜蘭大學圖書資訊館5樓，於105年開張，初名為「地質書房」。

至111年為止，學習站累積有17處，涵蓋臺灣北、中、南、東地區以及離島（馬祖），並在MOU單位國立宜蘭大學協助下，將地質知識漂向宜蘭地區高中校園。學習站朝向設立常設型展示場站，110年起以設立常設專區為目標，除現有部分場站延續外，亦積極洽談MOU單位共同推動，學習站陸續在國立臺灣師範大學、馬祖地質公園、宜蘭縣自然史教育館設立。未來，地質知識學習站除常設專區，亦協助運用地質資料媒合與加值運用，以強化設置地之地方特色地質，成為在地的地質知識發送基地台。

關鍵字：臺灣地質知識網絡、地質知識漂、地質知識學習站、合作平台

Key words: Taiwan Geoscience Network, Geo-knowledge crossing, Geology knowledge learning station, Cooperation platform

台灣巨木棲地分布之地形特性與地質環境

**Geomorphological Characteristics and Geological Environment of
Giant Tree Habitat Distribution in Taiwan**謝有忠¹、孫武群¹、吳庭瑜¹、徐嘉君²、王驥魁³經濟部中央地質調查所環境與工程地質組¹、行政院農業委員會林業試驗所²、國立成功大學
測量及空間資訊學系³Yu-Chung Hsieh¹, Wu-Cyun Sun¹, Ting-Yu Wu¹, Rebecca Chia-Chun Hsu², Chi-Kuei Wang³

國際間巨木常以胸高直徑(Diameter at Breast Height, DBH)或樹高來定義。全球超過 70 m 高的巨木數量稀少(Tng et al., 2012)，分布的地區多在沿海的潮濕地帶或接近赤道無風帶，至今 2022 年全世界前三高的巨木為美國加州的海岸紅木(*Sequoia sempervirens*)達 115.9m，澳洲塔斯馬尼亞州的山灰(*Eucalyptus regnans*)達 100.5 m，美國加州的西加雲杉(*Picea sitchensis*)達 100.2 m，而台灣最高的巨木為台灣杉(*Taiwania cryptomerioides*)達 84.1 m。台灣的巨木探勘仍處於起始階段，尤其受高山地區地形坡度陡峭、地形變化大等限制，加上以傳統方式測量巨木樹高更為困難，尤其是 65 m 以上的巨木，而隨著現代遙測技術以及攀樹技術的進步，探勘巨木的任務可行性也逐漸提高。2009 年莫拉克風災重創臺灣後，造成地形地貌大幅度改變。災後經濟部中央地質調查所利用空載光達(Airborne LiDAR)技術，進行 6 年(99~104 年)的全臺高解析度數值地形資料建置、地質災害調查及圈繪工作，這也是臺灣首次取得全島高解析度數值地形模型(DEM 及 DSM)，後續內政部 105 年起持續進行國內空載光達地形測製更新成果。在植被茂密的森林區域由於交通不便、地勢陡峭等，其測繪地形的難度較高，以空載光達進行測繪作業時，可同時獲得地表植被與地面回波點雲，有機會獲取樹高訊息，而為有效探索森林中巨木高度的方法。

目前巨木判釋作業以全島光達數值地形資料為基礎，至今 2023 年尋獲最高的巨木為 84.1 m 的台灣杉，全島總共尋獲 941 株巨木，多分布在台灣中高海拔地形區，交通不易抵達而不易於現地地質調查，本研究利用數值地形計量分析與 3 維影像判釋技術，進行每一棵巨木的點位之地質環境分類判釋與統計，初步統計後巨木主要分布在海拔 1,600 公尺至 2,600 公尺間，分布岩性範圍多為變質砂岩、片岩、千枚岩、和板岩區，分布坡向以西面坡為主，坡面位置多位於坡腹至坡腳範圍，鄰近巨木分布範圍多可發現河川襲奪、坡面重力變形區域、河道堆積和山麓堆積等，前述地形特性與台灣高山造山運動、侵蝕作用息息相關。藉由目前所見能提供巨木長久穩定生長棲地之地形特性，可進一步分析棲地地質環境之可能地質演化模式，了解地質時間尺度的坡地地形變遷對巨木生長的影響，或許可提供台灣地質災害頻繁影響下，相對可找出較安定坡地範圍。

中文關鍵字: 巨木棲地、空載光達、樹冠高度模型、數值地形模型、地形計測

Keywords in English: Giant Tree Habitat, Airborne LiDAR, Canopy Height Model, Geomorphometry

台灣山區殘存緩起伏地形的應用——以濁水溪為例

The preservation of low-relief surfaces in the Zhuoshui river catchment (central Taiwan) and its tectonic implications

謝孟龍

中正大學地球與環境科學系

黎芳好

中正大學地球與環境科學系

摘要

台灣山脈不乏被深谷切割、圍繞的「緩起伏地形」，其上常見緩坡、緩河道、與窪地。這類地形在日據時代已被報導，近三十年來卻被忽略。本研究重新檢視之，並認同日本學者的看法：這些地形乃過去緩慢地殼隆升下的產物，之後隨著地殼隆升的加速被抬起、接受侵蝕；至今所見皆為殘存者。本研究進一步以濁水溪日月潭以東流域為例(不含萬大溪)，彰顯該地形的應用。緩起伏地形主要分布於研究區的東半部(卡社、丹大、郡大溪上游)，暗示流域的侵蝕西快東慢；作為流域東界的中央山脈主稜在此向東偏折，平均高度降至海拔三千公尺以下，明顯低於其西邊的支稜。結合以上(侵蝕快的山脊海拔較高，侵蝕慢的山脊海拔較低)，得到此間西快東慢的地殼隆升形態。考慮流域水系發展之初地殼隆升必要東快西慢(河流因此向西流)，則此間中央山脈隆升中心應已向西遷移(期間河流持續下切，毋須改變流向)。本研究也估計流域西區濁水溪主流的岩盤下切潛勢(利用人倫一帶之紅土階地)，結果暗示，只要岩盤下切達到 $\sim 1 \text{ mm/yr}$ ，給予足夠的時間，大部分「緩起伏地形」將難以保存，遑論發育。如此，存在大面積緩起伏地形的高山，其河流下切速率必然小於(或遠小於)地殼隆升速率。

關鍵詞：緩起伏地形、地殼隆升、河流下切、山崩、中央山脈。

花蓮玉里地區對於 1951 與 2022 年地震遺跡的保存與活用之研究

郭麗秋^{1,2}、羅偉¹、林建緯³、莊勝傑³、王豐仁³、侯進雄²

¹國立臺北科技大學資源工程研究所、²經濟部中央地質調查所、³臺灣省應用地質技師公會

Research on the Preservation and Utilization of the 1951 and 2022 Earthquake Geoheritages in the Yuli Area of Hualien in Eastern Taiwan

Li-chiou Kuo^{1,2}, Wei Lo¹, Jian-wei Lin³, Sheng-chieh Chuang³, Feng-jen Wang³, Chin-shyong Hou²

¹ Mineral Resources Engineering Institute of National Taipei University of Technology, ²Central Geological Survey, MOEA., ³Taiwan Association of Professional Applied Geologist

摘要 / Abstract

臺灣東部花蓮玉里地區是 2022 年 0918 池上地震中受破壞較嚴重的鄉鎮之一，所發生的地表破壞、山坡崩塌等現象，對於民宅、公共場所、學校、橋梁、交通要道、農田等多類用地影響甚大。經濟部中央地質調查所的地震地質調查報告指出，地震主要由玉里斷層與池上斷層活動導致，玉里斷層地表破裂位置與 1951 年縱谷地震時地表破裂幾乎一致。本研究於舊玉里國小看到此一現象，又在其他地區的現地調查、人物訪談與文獻分析等過程，感受到相隔 70 年的二次地震，已建構出可貴的地震遺跡素材；為了促進本地的永續發展，設計和表現地質資源及地震遺跡的獨特性，應是可以達到效果的選項之一。

本研究認為玉里鎮可以形容是臺灣板塊擠壓的一線城鎮，1951 到 2022 年地震的衝擊和壓力，終究是地質科學原理「現在是通往過去的一把鑰匙」(The present is the key to the past) 的某種驗證。當居民選擇留在這裡發展，韌性便是這個城鎮必須培育的能力，以隨時面對自然的挑戰，甚而營造良好環境改善生活。建議玉里思考：1. 保留部分 0918 地震地質遺跡成為旅遊及環境教學資

源；2. 以舊玉里國小為基地連結 1951 和 2022 年二次地震事件，結合街景及數位技術永久保存。3. 不避談板塊或斷層，反而持續盤點景觀，從「人與自然共存共容」的觀點，擇交通、建築與生活各層面連結，突顯地方特色。4. 在地質、文史與特產之間創造韌性發展的空間，例如基於《地質法》、《文化資產保存法》規範，系統性地樹立板塊與斷層之地質敏感區—地質遺跡、自然地景—地質公園、自然紀念物—特殊地形及地質現象等品牌。

關鍵字：臺灣東部、花蓮玉里地區、0918 池上地震、地震遺跡、地質資源、永續發展、地質敏感區、地質遺跡、自然地景、地質公園、自然紀念物、特殊地形及地質現象。

Key words: eastern Taiwan, Yuli area of Hualien, 0918 Chishang Earthquake, earthquake geoheritage, geological resources, sustainable development, geologically sensitive areas, geoheritages, natural landscapes, geoparks, natural monument, special topographic and ecological phenomena

桃園海岸草漂沙丘之地形動力與環境演育**Morphodynamics and Environmental Evolution of Caota****Sand Dune, Taoyuan, Taiwan**

林宗儀、呂紹平、劉俊旻

國立臺灣師範大學地理學系

摘 要

本研究透過桃園草漂沙丘季節性和年際間的地形變化監測及沉積學之研究，分析討論草漂沙丘地形變動的動力機制及趨勢，並討論其長期環境演育過程。

草漂的海岸線走向大致呈東北東-西南西方向，冬季強勁的東北季風常成為較小角度的向岸風，將後灘上的乾砂吹起，同時朝陸側及朝西南沿岸方向來搬運，風砂堆積久而形成大致平行海岸的前列沙丘。前列沙丘的沉積構造分析也顯示在不同位置的風力作用特色和變化，前坡以風漣紋紋理(wind ripple lamination)的低角度板狀交錯紋理與平行紋理為主，沙丘頂為風速較快的水平平行紋理及楔狀交錯紋理，沙丘後坡則以顆粒沉降紋理(grainfall lamination)的平行紋理夾雜部分顆粒流紋理(grainflow lamination)的板狀交錯紋理為主。

夏季的離岸風砂搬運量相對小到可以忽略，但夏季時容易受到颱風波浪及暴潮的影響，常在沙丘前坡腳處侵蝕形成沙丘崖(dune scarp)。但隨後的秋冬兩季，崖面則可透過丘前斜面(dune ramp)的堆積與崖頂的斜坡崩落作用而漸恢復成典型沙丘坡面形態。沙丘崖的出現的位置，則另外受到沙丘前面海灘寬幅的影響。整體而言，前列沙丘脊長期以小幅度但穩定的往內陸側來移動。沙丘前坡人工設置的砂籬，則是沙丘自然演育的一種干擾，在冬季期間攔截向岸的風砂輸送，也使周圍的砂面堆高，前坡坡度變陡，尤其在坡腳遭波浪侵蝕形成崖面時，更容易引起大規模的前坡崩落。

透地雷達調查結果發現，前列沙丘現生表層沉積物厚度約5-10公尺，呈現低角度平行層理。而在現生沙丘沉積物下方，則可觀察到沙丘下的地層(藻礁層、礫石層等)與老沙丘沉積層的分布情形。老沙丘呈現向南、向內陸堆積，近代沉積層則受大多呈現向上堆積的特性。在富林溪出海口附近的沈積物震盪岩心取樣調查顯示，本區沙灘及沙丘堆積層的下方，有一藻礁平台，此藻礁平台目前出露在沙灘的最前緣，在退潮時可見。並且至少向內陸延伸到富林溪的內陸側。可知藻礁平台形成當時，海水位可能比現在更高，可見當時(大約3-4千年前)的海岸線至少在現在內陸側幾百公尺的位置，目前的內陸側的第二列沙丘，可能為當時的海岸前列沙丘。接著或因為海水位的略為下降或因陸地前緣的沈積物堆積進夷，使得藻礁平台漸被砂質沈積物覆蓋，而堆積的砂層也逐漸發育形成現今的沙灘與前列沙丘地形。而大致平行海灘的前列沙丘形成後，阻擋了富林溪的出口，使得源自桃園台地，流量不大的溪水在沙丘背側窪地停滯，形成濕地草澤(泥質堆積、富含有機物腐植質)，只能在颱風豪雨帶來溪流較大的流量時，得以衝破沙丘屏障入海。然隨著前列沙丘地形因沿岸流輸砂及優勢的風吹砂，繼續往西南方向延長堆積時，溪流本身也在沙丘的後坡側，漸轉向和沙丘呈平行，至這段沙丘的最西南端，高程較低矮之處，才得以截切沙丘入海。

深海型寬頻 OBS 載台的改良設計

Improved design of deep-sea Broadband OBS platform

林慶仁 林豐盛 張坤輝 郭本垣
中央研究院地球科學研究所

摘要

經過多年來的海上儀器佈放和收回，雖然收集了不少水下資料，也因為不明原因造成部分儀器失聯而無法收回。目前寬頻 OBS 都是以玻璃球作為儀器艙體並且提供儀器收回時所需要的浮力，雖然玻璃球在規格書上標定是可以承受 6000 公尺的水壓，但是由於玻璃本身比較脆性，而且在環境冷熱劇烈變化下可能會有爆裂的情況發生，又因為所有電子元件設備都是安置在玻璃球內，一旦玻璃球破裂，所有電子元件浸泡在海水裡便會造成短路，失去功能而無法運作，整套儀器便會失聯而無法收回。因此有必要進行儀器的改良。本研究以鈦金屬材料作為儀器艙體、儀器艙體提供必要浮力來設計新型深海用寬頻 OBS 成為 OBS Yardbird-BB-T，避免玻璃球破裂造成的風險。本文將詳述儀器設計的初步成果。

淺海型大地電磁儀的研發與檢測

陳又嘉¹、林慶仁²、張竝瑜³、林日白¹、楊金恒¹
林豐盛²、張坤輝²、李奇韋⁴

1. 國立臺灣大學地質科學研究所
2. 中央研究院地球科學研究所
3. 國立中央大學地球科學系
4. 國立臺灣海洋大學電機研究所

摘要

大地電磁法(Magnetotellurics,MT)是一種非破壞性被動源的地球物理探勘方法，被廣泛應用在地熱資源、地下水、地下電性構造、板塊隱沒帶、深部地函等研究，在進行地球構造研究和能源探勘方面非常有效。台灣位處板塊交界帶，地底活動頻繁，自從MT法引入台灣後，已有許多學者與研究機構利用此套方法研究台灣的電性構造。

海洋電磁法(Marine magnetotelluric)是其中一種在海域進行的MT探勘技術，世界各國爭相利用海底大地電磁儀(Ocean Bottom Electro -magnetometer,OBEM)進行海底探勘的同時，台灣也想發展此一技術。因為向國外購買研究儀器的價格昂貴，為了降低成本，國內嘗試學習並自主研發海底大地電磁儀(Ocean Bottom Electro -magnetometer,OBEM)，在2010年時成功開發出第一代的OBEM來進行海域的電磁波探勘。

OBEM收集到的長週期寬頻海底大地電磁資料，應用張量分解技術、三維順推模擬和二維逆推方法，可以用來進行海床地下構造的研究和地下資源的探勘。以往這種儀器大都是長期佈放在深海，在儀器設計上只注重功能性，沒有針對儀器的外形和製作材質多做考量。為避免儀器佈放在水下期間被底拖漁船帶走，儀器大都佈放在水深超過1千公尺以上的海床，對於海陸交界附近的淺海區域，特別是臺灣海峽一帶，捕撈漁業發達，並不適合安置水下儀器進行長期觀測，因此研發一套適合於海陸交界處使用的淺海型OBEM儀器和探測方法，將可收集到以往不容易得到資料，對於國土資源的探勘將有很大的幫助。本研究設計一種適合佈放於淺海一百公尺以內的OBEM，以探測海陸交界地帶的地下構造。

本文說明儀器載台、水密艙體、塑膠電極鉸鏈、電極延伸臂的機構設計，以及磁力感測元件、電極感應元件、傾斜感測元件、信號調整器和資料記錄的整合及測試情形。

Geomorphic controls of benthic organic carbon remineralization on two distinct shelves in the northern South China Sea

Yu-Shih Lin¹、Chieh-Wei Hsu²、Huei-Ting Lin³、Yuan-Pin Chang¹、
James T. Liu¹、Chih-Chieh Su³、Jih-Terng Wang¹、Wei-Jen Huang¹、
Saulwood Lin³、Chih-Lin Wei³

(1)Department of Oceanography, National Sun Yat-sen University、
(2)Cross College Elite Tech Program, National Kaohsiung University of
Science and Technology、(3)Institute of Oceanography, National Taiwan
University

Abstract

Two distinct source-to-sink systems that coexist in the northern South China Sea were examined for organic carbon (OC) remineralization activities in their shelf sediments. The narrow oceanic island shelf is fed by a small mountainous river (Gaoping River) that delivers a high proportion of fossil OC, whereas the broad passive margin shelf is charged by a large river (Pearl River) carrying OC mainly from the terrestrial biosphere. The higher total oxygen utility in the Gaoping River shelf than in the Pearl River shelf rejects the hypothesis that fossil OC-rich sediment is unfavorable for benthic activities. Compared to the passive margin shelf, the oceanic island shelf has lower fluxes of total hydrolysable amino acids, but greater amino acid degradability, higher fluxes of lignin and sewage derived organic matter. The biogeochemical-organic geochemical differences between the two shelves are attributed to their varying river mouth configurations and shelf topography.

藍綠菌生物礦化形成之低鎂方解石微管作為墾丁現生疊層石微生物

席墊層中的支架

**Low Mg-calcite Microtubes Formed by Cyanobacterial
Biom mineralization as the Scaffold in the Microbial Mat of Kenting
Modern Stromatolite**

Pei-Hua Wu¹, Biqing Liang¹

(1) Department of Earth Sciences, National Cheng Kung University, Tainan, Taiwan

Abstract

Stromatolites are the laminated microbialite widely considered to be some of the oldest traces of life on earth, and more importantly, record the information of ancient environment during its formation. Although lithification and diagenesis of stromatolite blur the record, modern stromatolite serve as precious materials for deciphering the environmental information embedded in the ancient stromatolite. Tubular structures in the ancient stromatolite have been recognized as the record of microbial activity due to the morphological similarity and the ability to induce biomineralization through photosynthesis by filamentous cyanobacteria grown in modern stromatolite. However, the mineral composition and origin of the tubular structures are still controversial. Modern stromatolites are rare and mostly grown in stable, or harsh and low eukaryotic-competition environments thus increasing the difficulty of related studies. In this study, we report the discovery of modern stromatolite in Kenting along the southeast coast of Taiwan. The modern stromatolite in Kenting exhibits the layered microbial mat with abundant tubular structures and well-laminated lithified parts. By microscopic and mineralogical analysis of the CaCO₃-microtube in the microbial mat, we determine the mineral composition, possible progress of nucleation as well as the formation of CaCO₃-microtube in a view of cyanobacterial biomineralization. Moreover, the amorphous or newly formed crystals present between the interface of minerals and organic remains inside the CaCO₃-microtube imply the subsequent fill-in crystallization after filamentous cyanobacteria death or escape. By investigating the Kenting modern stromatolite with abundant CaCO₃-microtube, our findings shed the light on the fate of the CaCO₃-microtube formed by cyanobacterial biomineralization and the vital role of the CaCO₃-microtube as the structural scaffold in the layers of stromatolite.

Systematic assessment of mineral distribution and diversity of microbial communities and its interactions in the Taiwan subduction zone of mud volcanoes

Aslia Asif¹, Bing-Mu Hsu^{1*}, and Bashir Hussain¹

¹Department of Earth and Environmental Sciences, National Chung Cheng University, Chiayi, Taiwan

Abstract

Mud volcanoes are the most dynamic and unstable sedimentary structures in the areas of tectonic compression like the subduction zones. In this study, we comprehensively analyzed the distribution of minerals as well as diversity, abundance and metabolic potential of the microbial communities of major mud volcanic groups across Taiwan namely Chu-kou Fault (CKF), Gu-ting-keng Anticline (GTKA), Chi-shan Fault (CSF), and Longitudinal Valley Fault (LVF). The highest microbial diversity and richness were observed in the CSF group, followed by the GTKA group, whereas the lowest microbial diversity was observed in the CKF and LVF groups. Proteobacteria were common in all the sampling sites, except WST-7 and WST-H (Wu-Shan-Ting) of the CSF group, which were abundant in Chloroflexi. The halophilic genus *Alterococcus* was abundant in the Na- and Cl-rich CL-A sites of the CKF group. *Sulfurovum* was dominant in the CLHS (Chung-Lun hot spring) site of the CKF group and was positively correlated with sulfur/thiosulfate respiration, which might have resulted in a higher expression of these pathways in the respective group. Aerobic methane-oxidizing microbial communities, such as *Methylobacter*, *Methylomicrobium*, *Methylomonas*, and *Methylosoma*, constituted a dominant part of the LVF and CSF groups, except for the YNH-A and YNH-B (Yang-Nyu-Hu) sites. The WST-7 and JS sites were abundant in both methane-producing and methane-oxidizing microbial communities. The LGH-F1 (Lei-Gong-Huo) site was dominated by both methanotrophic and methylotrophic genera, such as *Methylomicrobium* and *Methylophaga*, respectively. Methylotrophy, methanotrophs, and hydrocarbon-degrading pathways were more abundant in the LVF and CSF groups but not in the remaining groups. The results of this study extend our knowledge of the diversity, abundance, and metabolic functions of prokaryotes in major terrestrial mud volcanoes in Taiwan.

Analysis and interpretation of hot springs water, biofilms, and sediment bacterial community profiling and their metabolic potential in the area of Taiwan geothermal ecosystem

Bashir Hussain¹, Bing-Mu Hsu^{1*}, and Aslia Asif¹

¹Department of Earth and Environmental Sciences, National Chung Cheng University, Chiayi, Taiwan

Abstract

In this study, 16S rRNA gene sequencing was employed for bacterial community exploration, and their potential metabolic pathways involved from water, biofilms, and sediment samples, collected from the geothermal valley (Ti-re-ku). Metagenomics data revealed that the water samples had higher bacterial diversity and richness than biofilms and sediment samples. At the genus level, *Alicyclobacillus*, *Thiomonas*, *Acidocella*, *Metallibacterium*, *Picrophilus*, and *Legionella* were significantly abundant in the water samples. The biofilms were rich in *Aciditerrimonas*, *Bacillus*, *Acidithiobacillus*, and *Lysinibacillus*, whereas the sediment samples were abundant in *Sulfobacillus*. The PICRUSt2-predicted functional results revealed that heavy metal-related functions such as heavy-metal exporter system, cobalt-zinc-cadmium resistance, arsenical pump, high-affinity nickel-transport, and copper resistance metabolisms were significant in the water samples. Moreover, sulfur-related pathways such as thiosulfate oxidation, dissimilatory sulfate reduction, and assimilatory sulfate reduction were important in water samples, followed by biofilms and sediment. Therefore, our findings highlighted the comparative taxonomic diversity and functional composition contributions to geothermal fluid, with implications for understanding the evolution and ecological niche dimension of microbes which are the key to geothermal ecosystem function.

Exploring In-situ Bioremediation for TCE Degradation: Microbial Metabolic Patterns and Bacterial Identification

I-Sen Tsai¹, Bing-Mu Hsu^{1*}, Bashir Hussain¹, Cheng-Wei Fan¹, and
Suproakash Koner¹

¹Department of Earth and Environmental Sciences, National Chung Cheng
University, Chiayi, Taiwan

Abstract

Trichloroethylene (TCE) is a carcinogenic contaminant that poses a significant threat to human health. One promising method for TCE remediation is in-situ bioremediation, which is a preferred cost-effective and environmentally-friendly approach to treating polluted groundwater and soil. In this study, we collected samples from various depths (0-9m) underground and applied NGS and Biolog EcoPlate to observe the metabolic patterns of microorganisms over a period of 24 hours to 168 hours (1-7 days). L-arginine, phenylethylamine, and γ -hydroxybutyric acid were added as carbon sources in the substrate, and the results revealed a positive correlation with the TCE degradation pathway. *Clostridium*, *Desulfotomaculum*, *Desulfuromonas*, *Nitrospira*, *Sphingomonas*, *Pseudomonas*, and *Bacillus* were identified as bacteria that effectively degrade TCE, as evidenced by the heatmaps and the bubble chart created from FAPROTAX to visualize the strength of distinct metabolic pathways. Both aerobic and anaerobic pathways were confirmed to be effective in the degradation process. The microbial metabolic patterns observed in this study provide valuable insight into the effectiveness of in-situ bioremediation for TCE degradation. Our findings suggest that specific bacteria play a crucial role in the degradation process and can be used to develop more targeted and efficient bioremediation strategies. Further research is needed to better understand the metabolic pathways involved in TCE degradation and the specific bacteria that are most effective in this process. Our study highlights the importance of exploring in-situ bioremediation as a promising method for TCE remediation and provides valuable information for developing effective strategies to mitigate the environmental impact of TCE contamination.

Impact of Serpentine Rock on Microbial Communities and Biogeochemical Cycles

Suproakash Koner¹, Bing-Mu Hsu^{1*}, Bashir Hussain¹, Aslia Asif¹, and I-Sen Tsai¹

¹ Department of Earth and Environmental Sciences, National Chung Cheng University, Chiayi, Taiwan

This study examines the microbial communities and biogeochemical cycles in serpentine rock, serpentinized ultramafic soil, and non-serpentine soils. The researchers compared the heavy metals-exposed taxa signatures and functional repertoires in serpentine and non-serpentine soils. The results revealed that the serpentine rock embedded soil had higher amounts of Cr and Ni, negatively impacting soil microbial diversity through metal stress-driven selection. Biolog Ecoplate CLPP showed a restricted spectrum of C-utilization in higher heavy metal-containing serpentine samples compared to non-serpentine. Linear discriminant analysis (LDA) showed a higher abundance of Desulfobacterota, Opitutales, and Bacteroidales in non-serpentine-exposed samples, while the abundance of Propionibacteriales and Actinobacteriota was significantly enriched in the serpentine niche. The study also identified functional members linked to specific biogeochemical cycles and higher functional diversity in low Cr and Ni concentration-containing rhizosphere JS-soils. Pearson correlation coefficient (r) values confirmed the positive correlation of functional members with relevant pathway enrichment. Ultimately, this study highlights the heavy metal stress within a serpentine setting, limiting the resident microbial community's metabolic diversity and selecting bacteria that could thrive in the heavy metal-stressed soils. These acclimatized microbes could have future applications in soil conservation and management.

- (1) **University:** National Chung Cheng University /**Advisor:** Bing-Mu Hsu
- (2) **Degree:** Ph.D. Program /**Grade:** 4
- (3) **E-mail:** suproakashkoner22@gmail.com

澎湖原人再現

(Unraveling the Mystery of the Penghu Man)

張鈞翔^{1,2}

1. 報告者：chang28@gmail.com
2. 通訊作者：chang28@gmail.com

摘要

發現於臺灣海峽澎湖水道海底的人類下頷骨化石--澎湖原人是臺灣首度發現最古老的人類化石，年代距今約 45 萬年至 19 萬年前。過去的研究臺灣所發現最早的人骨化石曾經屬於距今約 2 萬年的左鎮人(現代人)，然而卻隨著新的年代檢測，左鎮人的年代拉近了數千年。毫無疑問地具有直立人特徵的澎湖原人，將臺灣的古人類化石記錄，往前推展至超過 19 萬年的更新世中期。從型態上的分析，澎湖原人具有在亞洲地區第四紀人類化石中，前所未見的粗壯與原始特徵。分析比較了近期所發現的印尼佛羅勒斯人、德國尼安德塔人、西伯利亞南部的丹尼索瓦人，在臺灣所發現的澎湖原人增添了亞洲地區直立人演化的特徵多樣性與擴大區域分布範圍，並適切地填補人類化石在亞洲的地理分布之空缺。透過傳統的型態檢視、3D 立體分析、古蛋白萃取技術，從形態學到分子生物學，將可全面解構澎湖原人身世之謎與性別之謎!

關鍵字：第四紀、澎湖原人、澎湖動物群、直立人、演化

Keywords: Quaternary, Penghu man, Penghu fauna, Homo erectus, Evolution

**A multi-proxy approach to palaeoenvironmental reconstruction of Lake Shira, Russia:
insights from ^{14}C , elemental concentrations and fallout radionuclides**Satabdi Misra¹; Hong-Chun Li¹; Tzu-Tsen Shen¹¹Department of Geosciences, National Taiwan University, Taipei 10617, Taiwan**Abstract**

A 30-cm gravity core (GC4) was collected from Shira Lake located in the central Altai region of Russia. A comprehensive age-depth model spanning the past 1100 years has been constructed by dating methods of AMS ^{14}C and fallout radionuclides (such as $^{210}\text{Pb}_{\text{excess}}$ and ^{137}Cs). The 1964 peak of ^{137}Cs was found at 13 cm depth, but the 1964 nuclear bomb ^{14}C peak was displayed at 8 cm depth, indicating ^{137}Cs (so does ^{210}Pb) is mobile in the sediments. Therefore, it is better to use ^{14}C age-depth model. The detailed ^{14}C dating of the core exhibits sedimentation rates of 0.24 cm/year during 2020 to 1986 CE; 0.11 cm/year during 1986 to 1950 CE and 0.019 cm/year up to 1154 CE. Elemental concentrations in 0.5N HCl leach and Aqua Regia dissolution from every cm sample were measured by ICP-OES for assessing the palaeoenvironmental alterations during the past 1000 years. Furthermore, the acid-leached sediments were analyzed for C, N, H and C/N by an Elemental Analyzer (EA). Based on the elemental concentrations and C/N ratios, the palaeoenvironmental changes represented by the core can be classified in four segments: 1. 900~1100 CE (Medieval Warm Period), the lake was fresh, warm and oxidized due to strong surface runoff shown by high AL Fe, Mn and U, but low TOC% and low AL Mo and Ca, reflecting warm and wet climatic conditions. The environmental conditions suddenly changed around 1150 CE. 2. 1200~1400 CE, the lake started to increase productivity and to drop in lake level due to evaporation, shown by increased TOC%, AL Mo, and high AL Ca. The environmental conditions suddenly changed again around 1450 CE. 3. 1500~1900 CE during the Little Ice Age, climatic conditions were cold and dry so that the surface lake was frozen for long time, shown by very low sedimentation and lake productivity. 4. 1900~present, with warm condition and human impact, the lake turned to brackish, anoxic and sometime meromictic, shown by strongly increased TOC% and AL Mo, but strong decreased AL Fe, Mn and U.

Keywords: ^{14}C radiocarbon dating; ^{137}Cs and ^{210}Pb ; Lake shira; C/N ratio; elemental concentrations; palaeoclimatic reconstruction

Production rate of magma at Mariana determined from numerical subduction models

Eh Tan¹

(1) Institute of Earth Sciences, Academia Sinica, Taiwan

Abstract

Arc volcanism is produced above the subduction zone. The dehydration of subducted oceanic crust and sediment will release water to the mantle wedge, which lowers the solidus and generates partial melting. The melt will migrate upward as magma. Some fraction of the magma will remain in the mantle and some fraction will migrate and accrete to the crust. The crustal accretion will increase the crustal volume. The arc crust production rate at Mariana has been estimated to be 23-89 km²/Myr. However, the fraction of magma remaining in the mantle is still unknown. As a result, the total production rate of magma is unknown as well.

Several important observations can help us to constrain this fraction. The magma within the mantle wedge should be less than a few percent, otherwise, seismic velocity would have been strongly reduced. The latent heat released at the mantle when the magma freezes is another constraint. If the mantle fraction of magma is too large and the magma freezes too fast, latent heat would increase the temperature significantly, which will affect subduction behaviors. This study will use numerical dynamic models with parameterized melt migration to simulate the Mariana subduction system. The model results will resolve the fraction of magma remaining in the mantle and hence the total production rate of magma in the Mariana subduction system.

西瓜哇火山岩鋯石鈾鉛年代與鈳同位素值在區域構造之隱示

Zircon U-Pb and Hf Isotopic Constraints on the Tectonic Event in West Java

梁瑋琪^{1,2}、呂宛馨¹、賴昱銘^{1,*}、Iwan Setiawan³、李皓揚²、鍾孫霖^{2,4}

¹ 國立臺灣師範大學地球科學系

² 中央研究院地球科學研究所

³ National Research and Innovation Agency (BRIN), Indonesia

⁴ 國立臺灣大學地質科學系

摘要

西巽他島弧位於東南亞巽他古陸的南部邊緣，其隱沒系統可以分為兩部分：具有斜向隱沒的蘇門答臘島弧及正常隱沒方向的爪哇島弧。巽他海峽是這兩個島弧系統之間的過渡帶，大地構造上因的不同應力方向最終導致巽他海峽的張裂，而此張裂的時間點目前仍在爭論中。本研究提供了西瓜哇西部已知 U-Pb 年齡的鋯石 Hf 同位素數據，並嘗試根據這些數據，推斷西瓜哇-巽他海峽下方的隱沒板片撕裂的時間。共分析 Danau 火山群、Ciemas 地區、Bayah Domes 南北地區等 14 個安山岩的 102 顆鋯石 Hf 同位素數據。其中，中新世至上新世鋯石（17.0 至 5.0 Ma，n=76）， ϵHf 值較高，為 +15.3 至 +9.6，而第四紀鋯石（1.0 至 0.4 Ma，n=26）的 ϵHf 值較低，為 +7.5 至 +1.2。 ϵHf 值較高的鋯石與蘇門答臘島東部訊號相似（15 至 13 Ma 和 4 至 0 Ma， ϵHf 值 = +18 至 +7），可以稱為“正常巽他島弧岩漿作用”的數值。然而，第四紀鋯石中較低的 ϵHf 值則需要另一個端成分來提供。本研究參考了西瓜哇-巽他海峽西部地區前人研究中的幾個構造模式，並根據數據推論是隱沒的板片發生撕裂，導致在 5.0 至 0.7 Ma 間有新的熱進入岩漿源區，使得隱沒板片上方的沉積物發生熔融，而此隱沒板片的撕裂，可能是巽他海峽張裂的結果。因此，巽他海峽張裂的時間應不會晚於 1 Ma。

關鍵詞：鋯石，U-Pb 年齡，Hf 同位素，巽他海峽，西瓜哇，蘇門答臘島南部

緊密微震儀陣列於臺灣變質岩及火成岩地區探勘成果

陳愷¹、李昭興¹、Larry Hutchings²、Steve Jarpe³

¹ 國立臺灣海洋大學 地球科學研究所

² Lawrence Berkeley National Laboratory

³ Jarpe Data Solution

摘要

臺灣位於歐亞大陸板塊以及菲律賓海板塊碰撞帶上，也是太平洋火環上一個地體活躍即造山運動迅速（4-5公分/年，為每年的世界最快上升速率的國家）。因為地質構造年輕又複雜，地震頻繁，地熱資源豐富，有大量溫泉露頭分布於全島，地熱能源以火山型地熱（例如大屯火山群、龜山島、綠島）及變質岩地熱（例如清水、廬山、知本地區）為分別。緊密微震儀陣列需要搭配完整的區域地質、地熱資源探勘相關報告，加上大地電磁、地球化學資料，整理出此區域構造影響地熱系統的範圍及方式，如探勘範圍包含水域則蒐集水深相關資料比對，找出地熱儲集層之熱流來源，評估地熱田長期發展的適宜條件。與美國勞倫斯柏克利國家實驗室合作，並在海洋大學研發改良型微震儀，配合當地適宜條件模組化其電池、太陽能板，並於北海岸、臺東、宜蘭、關子嶺研究區域內裝設緊密微地震儀陣列，經每三個月為期至少兩年收集地震的資料，研究前人撰寫之相關物理參數在所代表的含義，最後以軟體繪製出三維模型評估其研究場域內最適宜的地熱儲集層位置。我們的緊密地震儀陣列目前在臺灣共有172台正在收集資料，測站遍及變質岩和火成岩的地熱潛能區，所以我們可以用岩石物理學的概念來分析地下的熱源、通道和地熱儲集層的構造。

關鍵字：地熱、微震、岩石物理學、緊密地震陣列

區分火山型微震與構造型微震:以磺嘴山地熱區為例

吳瑋哲^{1,2}、陳榮輝³、蘇建旻³、溫士忠³、陳朝輝³、李奕亨⁴、陳俊榕⁴、
張文彥^{1,2,5*}

(1)國立東華大學自然資源與環境學系、(2)國立東華大學台灣東部地震研究中心、(3)
國立中正大學地球與環境科學系、(4)工業技術研究院綠能與環境研究所、(5)中研院
地球科學研究所

摘要

台灣位於菲律賓海板塊與歐亞大陸板塊的碰撞帶，地震活動頻繁，也是俗稱的環太平洋火環帶，火環帶所經過的地區一般而言常伴隨著火山的生成，而火山活動活躍的區域也經常意味著該區域的地熱資源豐富。台灣對於火山的研究於近幾年來轉為活躍，透過觀測技術的進步與研究指出，更新了台灣大屯火山的火山定義，對於岩漿庫以及周圍地熱資源含量的研究在近幾年來成為了學界關注的重點。

在國外成熟的地熱電廠中，經常透過觀察微震破裂模式來了解該區域的背景地震活動情形，並試圖透過微震震矩張量的變化來了解該區域地熱含量的變化。以台灣來說，由於地震活動頻繁，要釐清微震的破裂模式是屬於火山型微震抑或是構造型微震相對來說是一件艱困的工作。

本研究使用位於磺嘴山的微震網來觀測該區域的微震活動，並且反演其震矩張量來了解該區域的地震活動行為，震矩張量反演技術於中大型地震中較為成熟，於微震觀測中則較少被使用，因為微震能量較低，所收錄到的地震波型的數量並不會太多，這對於反演技術來說引入了太多的誤差，使研究所得結果可信度大幅降低。為了解決微震震矩張量反演技術的困境，本研究使用混合式震矩張量反演技術來進行微震震矩張量的反演，該技術引入對於路徑誤差的修正，解決微震經常所遭遇到的定位誤差問題，使其結果可信度大幅提升。

研究結果顯示，本研究方法可將位置十分接近的地震群集，區分為火山型微震區與構造型微震區，微震發生的震源深度在深度1~3公里處，對於火山型微震區微震活動行為分析表示，該區域微震活動形式數量為膨脹的形式達到該區域微震微震數量的50%~60%，顯示該區域處於熱水活動活躍的區域，以國外地熱電廠的經驗顯示指出，此指數也顯示該區域地熱含量仍具開發潛能。未來可藉由本研究所提出的方法，投入地熱潛能區之微震觀測，可提供地熱潛能區之背景地震活動監測與微震活動模式供地熱潛勢評估之前期評估與地熱區營運觀測微震活動模式變化等監測活動。

關鍵字：混合式震矩張量反演、磺嘴山、微震

Keywords：Hybrid Moment Tension Inversion, Huangzui Mountain, micro-seismic

廬山地熱區熱流機制之熱-水耦合數值模擬

劉台生¹、李元希¹、黃淞洋²、賴柏翰³、鄭展昀⁴

(1)國立中正大學地球環境科學系、(2)工業技術研究院材化所、(3)國立中正大學地球環境科學系碩士班、(4)國立中正大學地球環境科學系學士班

摘要

地熱資源為我國淨零碳排第3項關鍵戰略「前瞻能源」的其中一種能源，故建立地熱資源的評估能力，有助於加速達到我國家2050年的淨零排放目標。廬山地熱區一般認為是極具地熱發電的潛在場址。該區現有9口鑽井的資料顯示，其高溫區涵蓋約4公里寬的範圍，最高溫度達170°C，雖大部分井可鑽得高溫流體或氣體，但僅有NL-1a與NL-2有較高流量，即使在此兩口井附近的中油鑽井亦未有足夠熱水產出。推測廬山地區溫泉溫度高，與近地表處有發育密集的走向滑移斷層及此區域位於有較多變質砂岩，此兩因素導致深部流體有管道流出地表。然而，廬山地區深部是否有熱水儲積層，其深度為何、是否具有熱液的主要通道，均為需要回答的問題。本研究將蒐集廬山地區現有的地質、地球物理及地球化學資料，配合熱-水耦合數值模擬，在不同的情境下模擬廬山地區地熱分布情形，以探討影響廬山地區熱流分布的可能機制，提供建立初步地質地熱概念模式的參考依據。

關鍵詞：廬山地熱區、熱液通道、熱-水耦合數值模擬

臺灣南投東埔地區地熱場應力環境分析初探

張郁敬¹，葉恩肇*¹，林朝彥²，黃淞洋²，董倫道²，郭泰融²

¹國立臺灣師範大學地球科學系，臺北

²工業技術研究院材料與化工研究所，新竹

摘要

隨著淨零排放的願景不斷地被訴求與呈現，綠色能源的多樣性、自主性與永續發展更加被重視與強調。地熱能為綠色能源中重要的基載能源且有強烈的地域性，其探勘與開發需要彙整區域地質、地球化學以及地球物理等不同的資料，進行多尺度整合分析，以獲得較高之探勘成效，降低開發風險。臺灣受到歐亞板塊與菲律賓海板塊斜向聚合與隱沒反轉之交互作用，其火山作用與快速剝蝕掘升使得臺灣擁有為數不少之地熱好景區。位於火山地區之高潛能地熱區，多位於國家公園內，因法規之疑慮，未能積極地進行探勘，其他地熱區則多位於變質岩區。若要將地熱能列入臺灣重要綠色能源之一，有關變質岩區之地熱探勘與開發技術，需要投入大量人力與物力積極發展相關技術。

裂隙儲集層為變質岩區地熱能主要之開發目標，但裂隙易受到應力場之影響，可能成為導水通道或阻水構造，因此應力場評估與裂隙活化分析於變質岩地熱探勘極其重要。臺灣南投東埔地區位於西部麓山帶與雪山山脈交界帶附近，地殼範圍之震源機制解多數淺於10km，但位於西部麓山帶，少數震源機制解可達20km，且以逆斷層與走滑斷層震源機制解為主，而位於雪山山脈的震源機制解以走滑斷層與正斷層為主，反映兩地質分區除了變質度與構造上的差異，亦有地震特性的差異。即便如此，不論淺於20km或淺於5km的震源機制解應力反演結果皆顯示，其為西北-東南擠壓的走滑斷層應力場為主，唯一差異是淺於5km的應力比值(0.6)較淺於20km的應力比值(0.35)略高，詳細分析發現隨深度增加，應力比值逐漸降低，次大主應力規模逐漸降低。另一方面，藉由裂隙活化分析，高潛能導水裂隙位態預期以西北-東南向且高傾角為主。

為了更深入瞭解不同地質區下，應力場與裂隙活化趨勢之差異，本研究將分別針對西部麓山帶與雪山山脈不同深度層的震源機制解進行解析，進一步比較其預測高潛能導水裂隙位態之差異，提供更完整裂隙活化趨勢資訊，以期促進臺灣變質岩區之地熱探勘與開發。

關鍵字：地熱、導水裂隙、應力場、裂隙活化

Assessing CO₂ Plume Migration and Trapping Mechanisms with Petroleum System Modeling

Andy Min Hao Wang

SLB

Abstract:

Petroleum system modeling is a well-established approach used in the oil and gas industry to simulate the evolution of sedimentary basins and predict the timing of hydrocarbon generation, migration, and accumulation by modeling the pressure and temperature conditions over geological time. In this presentation, we demonstrate the potential of this approach for studying geological carbon storage at the basin scale. Specifically, we investigate the long-term CO₂ storage mechanisms and the impact of different trapping mechanisms on CO₂ plume migration and storage using a synthetic dataset. Our study highlights the value of integrating petroleum system modeling into carbon capture and storage (CCS) projects for improved understanding of various CO₂ trapping mechanisms and their effects on total storage and CO₂ plume migration prediction.

Keywords: Petroleum system modeling; geological carbon storage; carbon capture and storage (CCS).

台灣北部濱海地區碳封存可行性研究

曾彥祺¹、柯佳君¹、簡志宇¹、曾柏諺¹、許軒瑞¹、吳珉豪¹、田志明²、
李奇峰¹、楊志成¹

¹台灣中油公司探採事業部、²台灣中油公司探採研究所

摘要

全球暖化造成氣候變遷之影響日益嚴重，為有效逐年減少大氣中之二氧化碳含量，台灣政府提出「十二項關鍵戰略」做為減碳途徑，並在「氣候變遷因應法」明訂將於2050年達成淨零排放。在「十二項關鍵戰略」中，碳捕捉、再利用與封存(Carbon Capture、Utilization and Storage，簡稱CCUS)為目前相對成熟且具商業化前景之負碳技術。截至2022年10月，全球開發中及建置完成之碳封存場址共有196個，而大部分開發中場址之封存目標為地下鹽水層(Saline aquifer)，係因鹽水層之碳封存量能佔比高達全球量能13.9兆噸之97%，使該類碳封存場址具有長期運作及與其他場址調整容納之優勢，參考國家科學委員會2014年「台灣二氧化碳地質封存潛能地圖集」，台灣西部陸海域鹽水層之碳封存量能亦達459億噸，是台灣發展CCUS關鍵戰略之利基。

台灣中油公司以過往油氣探勘及生產之資料，評估台灣北部濱海地區鹽水層之碳封存安全性、封存量、灌注能力及工程風險等，篩選出最具碳封存開發潛力之場址，並根據既有之井下地質及地球物理資料完成可行性研究，內容包含地下地質模型建置與二氧化碳數值模擬等。研究成果顯示，研究區中可封阻二氧化碳之主要蓋層為厚度約100公尺之錦水頁岩，地下2000公尺內存在三套可儲集二氧化碳之地層(東坑層、上福基砂岩及桂竹林層)，其中東坑層底部厚層砂岩之岩心孔隙率為34.5%、滲透率為1100毫達西(mD)，經地質模型與數值模擬分析，三套儲集岩之總有效封存量達11.7億噸。若以每年灌注100萬噸二氧化碳、連續灌注20年之情境進行數值模擬，模擬結果顯示開始灌注後第1000年(停止灌注後980年)時，二氧化碳團塊垂向僅移棲至桂竹林層中段，尚未接觸到主要蓋層，橫向上受溶解封存和殘餘氣封存等機制影響，團塊水平移動距離逐年遞減，總封存效率指數(Total trapping efficiency index, TEI)為87.11%，代表研究區之二氧化碳封存安全性高，具備開發碳封存場址之潛能。

二氧化碳地質封存之地震監測及風險評估

顏元奕、陳俊德、顏銀桐

財團法人中興工程顧問社

摘要

近年來，全球致力於能源轉型及淨零碳排目標，期望藉由減少二氧化碳的排放來減緩全球暖化趨勢。為此，二氧化碳之捕捉及封存技術(Carbon Capture and Storage, CCS)成為減碳的重要關鍵。然而，臺灣地質構造複雜，地震活動相當頻繁，儲藏層的穩定性及流體注入觸發地震的風險一直是公眾關心的議題。本研究以各國 CCS 示範場或商業運轉計畫的地震監測手法為基礎，整理比較其在執行後的地震發生情況，以釐清注儲與觸發地震之間的關聯性。此外，本研究也探討台灣彰濱廠址的 CCS 模擬案例，該研究案以FLAC3D程式建置的水力學-力學(H-M)耦合分析模式，比較注入量與潛在誘發地震的規模，在注入井距離斷層500公尺，每日灌注量約5.5萬噸的情況下，方能觸發斷層滑移產生震矩規模約3.29之地震；透過震波模擬技術，在此情境下於3.3公里外之觀測點，可能產生最大東西向地動加速度為5.55gal，引發地震震度均在二級或以下。本研究結果可提供臺灣碳封存之發展研究參考，減少 CCS 計畫執行風險之疑慮。

關鍵字：二氧化碳封存、地震監測、誘發地震

高屏溪全流域之水文特徵模型建立與水文收支研析

邱永嘉¹、林立虹²、李宗祐³、許少瑜⁴、陳文福⁵、游政谷⁶、王珮玲⁷、
鐘志忠⁸、柯建仲⁹

- (1) 國立臺灣海洋大學地球科學研究所教授
- (2) 國立臺灣大學地質科學系暨研究所教授
- (3) 國立臺灣師範大學地理學系副教授
- (4) 國立臺灣大學生物環境系統工程學系副教授
- (5) 嘉南藥理大學觀光事業管理系副教授
- (6) 國立臺灣大學大氣科學系教授兼系主任
- (7) 國立臺灣大學海洋研究所副教授
- (8) 國立中央大學土木工程學系副教授兼住宿服務組組長
- (9) 財團法人中興工程顧問社深地質研究專案計畫副經理

摘要

氣候變遷衝擊下，水文及水文地質系統受到水體流動的劇烈變化，水文遷移與收支平衡牽動整體地球環境變遷以及其時空演化。為研析氣候變遷下水文演化趨勢與機制，針對基礎科學觀測及研究，建構完整且長期的山區至海岸全流域水文觀測網。本研究為減少全流域水文收支解析上的高度不確定性，補足過往缺乏的「上游山區」及「下游海岸」觀測資訊，擇定南台灣降雨時空分布不均的高屏溪為研究區域，參照美國NSF的關鍵區(critical zone observatory, CZO)及海岸線與人類(coastlines and people, CoPe)計畫之概念，建構山區至海岸的大氣、地表水與地下水水文監測網。觀測網由集水區尺度(大尺度)及場址(小尺度)建構而成，以「長期」與「高密度」的水文特徵觀測搭配「多重」現地試驗，透過直接觀測山區降雨量、河川輸砂量、地下水位與量測蒸發散量、土壤含水量、河川出入滲量及分析水質、同位素等，研析地表及地下水流動特性、山區河川與地下水水源與流動路徑、地下水停滯時間、山前(mountain front)與山體(mountain block)補注。經由研析山區「地表水文系統」、「坡地水文系統」與「地下水文系統」，嘗試建立山區耦合氣象-地表水-地下水之水文地質特徵模型。海岸地下水系統則針對海岸地下水流場、海水入侵範圍、淡海水面交互作用及其控制機制進行探討，藉此建構海岸地下含水層水文特徵模型。綜合山區及海岸水文特徵模型與平原地區長期監測成果，評估全流域水文收支特性。本研究初步於山區及海岸地區設置多口不同深度的地下水觀測井，並於井下佈置光纖與設置水位計，同時對各觀測點位進行水位與水溫觀測、地電阻探勘、蒸發散水文收支分析及水質採樣分析，初步結果顯示，山區的各集水區有潛在水文收支不平衡之問題，受到人工結構物及河道幾何形狀的影響，導致河川發生斷流的現象；海岸地區第一含水層有鹽化的情形。未來將持續研析各項水文特徵以建構完整的山區及海岸水文特徵模型及水文收支，期望提供後續氣候變遷緊急狀態下之調適策略擬定的科學依據。

關鍵詞：觀測網、山區水文、海岸水文地質、水文收支、氣候變遷

高屏溪流域水文收支初探

邱繼成¹、李宗祐²、許少瑜³

(1)中央研究院環境變遷研究中心、(2)國立臺灣師範大學地理學系、(3)國立臺灣
大學生物環境系統工程學系

摘要

瞭解流域的水文收支是掌握可用水資源的關鍵，在雨量與流量資料逐漸豐富的條件下更適合探究此課題。本研究以高屏溪流域的8個水利署流量測站所屬的集水區為例，分析其流量與不同資料來源雨量之關係，瞭解年尺度下高屏溪各集水區水文收支情形。其中，雨量資料分別來自中央氣象局的91個地面氣象測站、網格化觀測雨量(TCCIP，五公里解析度)以及台灣歷史氣候重建資料(TReAD，兩公里與五公里解析度)。結果顯示，地面氣象測站所在位置的TCCIP網格，兩者年雨量序列的均方根誤差介於86到1520毫米之間(中位434毫米)，TReAD五公里的誤差介於356到1958毫米之間(中位數610毫米)，TReAD兩公里的誤差介於353到2031毫米之間(中位數674毫米)，且有隨著海拔增高而增加的趨勢，各方法對年雨量估計有顯著差異，透過流域尺度長期年平均雨量與流量差值推估各集水區的平均年蒸發散量介於-237至1241毫米之間，顯示高山流域水文收支的估計仍有很大挑戰。儘管各種估計雨量方法間具有差異，但在沒有水利設施影響流量的子集水區間，確有系統性地年逕流係數與集水區面積呈正相關、年蒸發散量與海拔呈正相關等與一般認知相反的趨勢，暗示高屏溪的上游集水區可能有流量流失，並以地下水方式補入下游集水區的情形，為研究山前地下水現象的良好集水區。台灣南部近年來面臨水資源短缺的困境，唯有掌握流域水文收支狀況，才能更有效地善用水資源。

高屏河流域水文化學特徵與化學風化作用對碳收支的影響

Hydrogeochemical characteristics and the effect of chemical weathering on carbon budget in the Gaoping river system

李芸瑄¹、王珮玲²、林立虹¹、邱永嘉³

¹國立臺灣大學地質科學系

²國立臺灣大學海洋研究所

³國立臺灣海洋大學地球科學研究所

陸地岩石的化學風化作用對於大氣的碳收支扮演著重要的角色，而河水的水文化學特徵則是風化產物的匯集，本研究分析高屏河流域的水文化學特徵，解析其化學風化過程與機制，及其時空分布上的差異。研究結果顯示高屏河流域河水中的主要陰離子是碳酸氫根與硫酸根離子，主要陽離子則是鈣、鎂、鈉離子，總離子濃度在高屏溪口的採樣點因不時受潮水影響而偏高。除了少數受到海水影響的河水樣品外，多數河水的氫氧同位素組成落於天水線，下游河水的氧同位素值較上游高，且在高屏河流域數條小支流的氧同位素值也較高，若以時間序列來看，同一採樣點的數值雖有差異但並無明顯的季節性變化，且最上游採樣點的數值變化幅度最小。根據河水中硫酸根離子的硫、氧同位素組成可知硫酸根離子主要為黃鐵礦風化產物，比對硫酸根離子的氧同位素組成和河水的氧同位素組成則可得知流域中黃鐵礦氧化途徑主要是無氧途徑，硫酸根離子中的氧大多來自於水分子。高屏河流域中的溶解有機碳濃度在下游處相較於上游有較高值，且下游在乾季時的溶解有機碳濃度高於濕季，上游則是濕季時的濃度高於乾季。根據高屏河流域的溶質化學組成，扣除雨水貢獻後以設定端元拆解化學風化的驅動力和風化產物來源，可知硫酸和碳酸驅動不同程度的矽酸岩與碳酸岩風化，硫酸是主要驅動化學反應無機酸源，產生的總離子當量在下游較高，陽離子主要是以碳酸岩風化的貢獻為主。對長時間尺度大氣二氧化碳收支而言，整個高屏河流域風化作用以向大氣排放二氧化碳為主，而下游的平均釋放量較多。

關鍵字：二氧化碳、化學風化、高屏溪

Keywords: carbon dioxide, chemical weathering, Gaoping river

高屏溪流域隘寮溪河段地下水與地表水交互作用之研究：以斷流河道下方地下水及伏流水為例

莊惟歆¹、蔡義誌¹、許少瑜¹、邱永嘉²

(1) 國立台灣大學生物環境系統工程學系、(2) 國立臺灣海洋大學地球科學研究所

摘要

本研究以三地門鄉與瑪家鄉地區之隘寮溪河段作為研究區域，隘寮溪作為高屏溪之上游支流，其地形為由山地進入平原之蜿蜒河段，水文條件受河川複雜形狀及鄰近山區邊坡地下水影響。此外，河段上亦有農田水利署隘寮工作站於該河段內設置之隘寮堰，因此研究區域內出現河川水流與地面取水設施間之競合關係，使枯水期時研究區域內有斷流現象之發生。本研究透過現地探訪及實驗，以地電阻探測搭配示蹤劑實驗，分析河床底下地層剖面之電阻率變化特性，推估斷流河流下方之地下水流及伏流水潛在路徑。發現在河床特定深度，相較其他位置位有較低之電阻率，暗示河道下該深度位置有含水層存在之可能，其來源可能為伏流水或地下水。在上游乾枯河道上投放示蹤劑後，發現下游斷面之特定位置電阻率下降，推測即使河床乾涸，河水仍以伏流水形式流至下游，且其流動路徑可能受沉積物粒徑影響，示蹤劑之流動路徑集中於含水層之特定位置。期望能夠提供調查數據，協助地方河川生態、農業與整體高屏溪水資源管理單位，透過工程與非工程手段共同度過氣候變遷下的水資源管理挑戰。

關鍵字：地電阻影像探測法，示蹤劑試驗，伏流水

Upstream aquatic history and seasonality shape microbial community composition in a small mountainous river

Tzu-Hsuan Tu¹, En-Ju Lin¹, Pei-Ling Wang², Li-Hung Lin³

¹Department of Oceanography, National Sun Yat-sen University

²Institute of Oceanography, National Taiwan University

³Department of Geoscience, National Taiwan University

Riverine microorganisms play critical roles in biogeochemical processes and catalyze ecosystem services for sustaining life, yet we understand little about mechanisms determining their composition. Microbial communities are modified and re-assembled in a fluvial system during transit from land to the ocean. The potential effects of upstream assembly and resistant time may shape downstream microbial community within aquatic networks, generating complex patterns of ecological succession. Here, we reconstructed the microbial succession within the Gaoping River. We characterized hydrological seasonality and differentiated the total and reactive community by sequencing both 16 rRNA genes and their transcripts. Our analyses yielded diverse community compositions with a total of 38,679 ASVs, which were taxonomically assigned to 87 phyla, while their abundances showed a highly skewed distribution pattern among sites and seasons. ASVs affiliated with Comamonadaceae were more abundant in downstream sites. In the middle course, the dominant ASVs were affiliated with the genus *Thiobacillus*, while those dominant ASVs were absent in upstream sites. Moreover, microbial community and geochemical features varied spatiotemporally and demonstrated gradual change along the watershed. Furthermore, parts of orders were correlated regionally with nutrient and chemical concentrations. By examining the differences between DNA and RNA-based microbial assemblages, we found that during the dry season the similarity between total and reactive community compositions seemed to be greater than samples collected during wet season. Therefore, we inferred temporal shifts in the relative importance of assembly processes, with species selection dominant in spring and winter, and mass effects becoming stronger in summer. Overall, the current results consider the upstream history and hydrological seasonality as the deterministic factors controlling microbial community composition in a fluvial system.

Keywords: biogeography; environmental selection, mass effect

應用分散式光纖溫度感測器觀測隘寮溪山區河段伏流 水流出後之溫度變化

潘彥維¹、李宗祐²、邱永嘉¹

(1)國立臺灣海洋大學地球科學研究所、(2)國立臺灣師範大學地理學系

摘要

探討地表水及地下水間的交互作用對於了解和管理流域中的溪流水質與水量至關重要，可以為伏流水取水設施或截流系統的運作策略提供訊息。透過分析河水溫度的時空變化特徵，得以追蹤地表水及地下水的流動行為，進一步探索河段中兩者的交互作用機制。本研究運用分散式光纖溫度感測器（fiber-optic distributed temperature sensor, FO-DTS）量測技術，在隘寮溪三地門地區約850公尺的河段以每25公分、每10分鐘的時空解析度進行為期五天連續性河川水溫測量。監測結果顯示，FO-DTS測得的溫度數據具有極佳的空間解析能力，搭配以無人空拍機產製的正射影像，相當適合用於調查複雜多變的水文地質環境。藉由高解析度的溫度量測，河道中具有不同溫度特徵的水源能夠被準確的定位和記錄。分析2022年12月05日至12月09日的溫度測量結果顯示伏流水露出地表時易受到氣溫的影響，隨著伏流水的匯集而呈現較穩定的溫度，量測河段中河川水溫隨著下游流動距離而降溫，暗示伏流水源來自距地表較深處而不受氣溫影響。本研究旨在驗證FO-DTS技術在河川中安裝、觀測及校正的方法以及應用於地表水及地下水交互作用的可行性。研究結果成功識別出伏流水補注河川的情形，除增進對溪流水文過程的理解外並可用於河道水文環境生態評估之參考。

應用分散式光纖溫度感測器觀測隘寮溪山區河段伏流 水流出後之溫度變化

潘彥維¹、李宗祐²、邱永嘉¹

(1) 國立臺灣海洋大學地球科學研究所、(2) 國立臺灣師範大學地理學系

摘要

探討地表水及地下水間的交互作用對於了解和管理流域中的溪流水質與水量至關重要，可以為伏流水取水設施或截流系統的運作策略提供訊息。透過分析河水溫度的時空變化特徵，得以追蹤地表水及地下水的流動行為，進一步探索河段中兩者的交互作用機制。本研究運用分散式光纖溫度感測器（fiber-optic distributed temperature sensor, FO-DTS）量測技術，在隘寮溪三地門地區約850公尺的河段以每25公分、每10分鐘的時空解析度進行為期五天連續性河川水溫測量。監測結果顯示，FO-DTS測得的溫度數據具有極佳的空間解析能力，搭配以無人空拍機產製的正射影像，相當適合用於調查複雜多變的水文地質環境。藉由高解析度的溫度量測，河道中具有不同溫度特徵的水源能夠被準確的定位和記錄。分析2022年12月05日至12月09日的溫度測量結果顯示伏流水露出地表時易受到氣溫的影響，隨著伏流水的匯集而呈現較穩定的溫度，量測河段中河川水溫隨著下游流動距離而降溫，暗示伏流水源來自距地表較深處而不受氣溫影響。本研究旨在驗證FO-DTS技術在河川中安裝、觀測及校正的方法以及應用於地表水及地下水交互作用的可行性。研究結果成功識別出伏流水補注河川的情形，除增進對溪流水文過程的理解外並可用於河道水文環境生態評估之參考。

Microbial carbon transformation in metamorphic aquifers of southeastern Taiwan

Jhen-Nien Chen¹, Li-Hung Lin¹, Pei-Ling Wang², Jui-Fen Tsai¹, Yueh-Ting Lin¹, Lu-Yu Wang¹, Pei-En Chen²

¹ The Department of Geosciences, National Taiwan University

² The institute of Oceanography, National Taiwan University

The discharge of CO₂ from groundwater into river represents a collective CO₂ pool produced from various abiotic and biotic processes along groundwater paths. However, limited efforts have been paid to identify biological processes involved in CO₂ cycle in groundwater. The study aimed to investigate spatiotemporal variation of biotic carbon transformation on CO₂ budget in groundwater. Water from shallow/deep aquifer were collected from wells (DL-BH01-27m, DL-BA01-85m, CWL-BH01-27m, CWL-BH02-85m) along Sinwulyu river during wet/dry seasons. Stable isotopic probing incubation was performed to trace the auto/heterotrophic metabolisms rates contributing to CO₂ consumption/production, respectively. The DIC uptake rates were invariant and in a range of 3.1-39.8 μg-C/m³·hr regardless of seasons. Heterotrophic metabolic rates with two ¹³C-labelled organics showed various patterns. The catabolic CO₂ production rates with glycine were higher in wet season (10⁴ vs 10 μg-C/m³·hr) while the rates with pyruvate (at least 10³ μg-C/m³·hr) were invariant between seasons. The assimilation rates were orders of magnitude lower than the catabolic rates. Besides, the assimilation rates between seasons were invariant except that the rates with glycine for CWL-BH01-27m and the rates with pyruvate for DL-BA01-85m were high in wet season (7.1 vs 0.8 μg-C/m³·hr and 150.5 vs 6.5 μg-C/m³·hr, respectively). In summary, the results suggest heterotrophy dominates over autotrophy and contributes CO₂ to groundwater system, contrasting from conventional thoughts that ecosystems hosted by crystalline rocks are controlled by autotrophy. While pyruvate is likely utilized more broadly than glycine, the rates for both substrates varied considerably between depths, sites and seasons. The pattern is consistent with complex interactions arising from the connectivity between fracture controlled aquifer and surface water, and niche heterogeneity governed by the hosted geological and geochemical characteristics.

Keyword: biotic carbon transformation; stable isotopic probing; auto/ heterotrophic; groundwater ecosystem

半自動化岩體評分程式之建構

邱家吉¹、柳鈞元²

(1)國立臺北科技大學資源工程研究所、(2)財團法人中興工程顧問社

摘要

本研究旨在發展一套基於點雲分析技術之半自動Q-system岩體評分程式，能透過點雲空間分布計算Q-system岩體評分法中之岩石品質指標(Rock Quality Designation, RQD)、節理組數(Jn)與節理面粗糙程度(Jr)之評分數值。該程式以隨機抽樣一致演算法(RANDom SAmple Consensus, RANSAC)擷取主控岩體節理面之表面點雲，並透過分析岩體之加權節理密度(Weighted Joint Density, WJD)進而求取RQD；接著，程式針對點雲進行平面擬合，透過球體K-means群集演算法分析擬合面法向量以獲取節理面優勢位態，進而得到Jn評分；最後，在Jr計算方面，將分析擬合平面與所屬點雲之距離關係，透過Barton提出之A/L簡易評估法計算節理面粗糙度係數(Joint Roughness Coefficient, JRC)，並依照Barton建議之轉換方式轉換為Jr。本研究以龍洞為測試地點，透過無人機航攝建置露頭三維點雲，並將經過前處理之點雲以半自動化評分程式進行評分，最後與人工評分結果進行比較。研究結果發現，半自動化評分程式結果接近人工評分結果，因此可作為輔助調查之工具。本團隊亦嘗試將程式應用於其他露頭之分析，發現應用於互層岩體分析時，成果會因點雲解析度及表面起伏影響而受限。

關鍵字：點雲、岩體評分法、無人機、露頭調查

非連續體數值模擬方法中板岩不連續面等值化評估方法

黃宥傑^{1*}、王泰典²、鄭富書²

(1)*國立臺灣大學土木工程學系博士班研究生(email: D10521047@ntu.edu.tw)

(2)國立臺灣大學土木工程學系教授

摘要

岩體中的不連續面顯著地影響其工程特性，以致不連續面的空間分佈與力學特性一直是工址地質調查的重點。ISRM建議不連續面調查與描述項目，包括各組不連續面的位態、間距、持續度、粗糙度等幾何參數以及其他描述因子，可為岩盤特性分析與數值模擬輸入的依據，提供現代化精細岩盤工程良好的助益。然而，針對部分不連續面組間距、持續度差異甚大的地層，例如板岩層中劈理以及頁岩中層面，相對於其中其他不連續面，量值常是數十倍以上的差距，造成分析與模擬難於直接應用現地調查的參數，亟需一套有效的評估方法，等值量化不連續面幾何參數。

本研究以台灣東北部田古爾溪口附近板岩邊坡為案例，透過現地調查、3DEC非連續體數值模擬以及數十年山崩目錄比對，探討不連續面幾何參數對邊坡穩定的影響，據以發展一套數值模擬中不連續面間距與持續度輸入參數等值化評估方法。案例場址附近板岩劈理位態、間距、持續度變化不大，但溪流兩岸不同坡向的邊坡歷年呈現相當大的穩定性變化，提供良好的研究資料。現地調查所得不連續面幾何參數，透過實驗設計法轉換為3DEC程式輸入值；配合數值地表模型裁切與鑲嵌，建立一擬合現地多坡向的數值模型，並在數值模型中考量河道侵蝕以及加積作為觸崩因子，邊坡穩定模擬結果經比對歷史航照崩塌判釋所得不同坡向的崩塌比，取得不連續面幾何參數對不同坡度、坡向邊坡穩定性的影響，經統計變異數分析(ANOVA)獲致迴歸公式。由迴歸式評估所得參數做為案例邊坡穩定分析輸入值，模擬所得吻合現地情況，驗證本研究所提方法正確性，可提供相關案例參考。

板岩帶與片岩帶岩性交界的邊坡穩定與岩體特性探討

-以南橫公路霧鹿至利稻鄰近為例

羅百喬¹、黃詠智¹、潘立慈¹、羅偉² 王泰典¹ 謝有忠³

(1)國立台灣大學土木系、(2) 國立台北科技大學資源工程研究所、(3) 經濟部中央地質調查所

摘 要

本研究針對南橫公路霧鹿至利稻鄰近經常性崩塌路段，利用多時期遙測影像、沿線地表地質、不連續面調查與數位測繪建模，進行岩體Q評分後綜合研析邊坡失穩的影響因素，最後探討板岩與片岩交界帶附近的邊坡穩定與岩體特性。

研究結果顯示，研究區域內2009至2015年的歷史山崩目錄顯示，板岩帶內的山崩數量大於片岩帶區域。而霧鹿橋以西出露的片岩帶與板岩帶岩性交界以不整合接觸，地層邊界的岩性交界帶之Q值低於兩側圍岩，以RQD以及Jr差異較明顯。板岩帶內其岩性差異對岩體工程特性變化一般不及褶皺及斷層出露處顯著。片岩的葉理呈波浪狀且不連續面組的持續性不佳，葉理跟波長為公分等級的褶皺會連接組合成不同型態的破裂面。中視尺度至巨視尺度的褶皺、斷層、層間剪裂、密集裂隙內的調適構造則造成岩體破碎，易成為岩屑崩滑、落石的發生源。

斷層破壞帶探討-以臺灣東北角萊萊地區為例

吳明諭¹、羅偉¹

(1) 國立臺北科技大學資源工程研究所

摘要

斷層破壞帶內之岩體在斷層作用影響下，其裂隙強度及滲透率提高，岩體強度與承載力降低，並發育出次生斷層及裂隙，改變原先岩體的均質性(homogeneous)及等向性(isotropic)，影響斷層破壞帶內工程建設之安全，故了解斷層破壞帶是一項重要的課題。臺灣對斷層帶範圍劃定依造斷層兩側變形狀況分為二類，當變形狀況對稱時，易受斷層影響之範圍以兩側等寬各約 150 公尺的方式繪製，若變形狀況不對稱，劃設主要變形側約 200 公尺，非主要變形側約 100 公尺之區域(經濟部, 2014)。雖已有初步的建議範圍，但該範圍為條帶狀劃定，若能知道範圍內相對影響程度，即可得到更正確劃定範圍。

本研究挑選台灣東北角萊萊地區為研究區域，主要研究濱海公路 110km 至 114km 旁之海蝕平台，分析海蝕平台上之斷層及裂隙，配合無人機空拍製成正射影像，繪製出露頭上之裂隙線型，以斷層破壞帶呈現之幾何樣貌區分出尖端破壞帶(tip damage zone)、圍岩破壞帶(wall damage zone)及連結破壞帶(linking damage zone)，再將露頭以長寬各 5 公尺的網格切割，計算網格內裂隙強度，並分為五個等級探討斷層不同位置之裂隙強度差異，得出更精確的斷層帶範圍。

研究結果顯示於裂隙强度高之位置除了岩性因素外，主要位於兩鄰近斷層相互影響之範圍，以濱海公路 110.5km 處為例，呈現馬尾狀構造及反向斷層相互影響，形成以 N50°E 分布的高強度區域，裂隙強度中之位置位於斷層尖端位置，最低之裂隙強度位於斷層中段圍岩部分，呈現中低的裂隙強度，並向外快速減少，故斷層帶劃分範圍時，需注意兩斷層間相互影響之區域及斷層末端區域，該二區裂隙強度較高並向發育方向延伸。

(1) 就讀學校/指導教授：國立臺北科技大學/羅偉

(2) 學位/年級：博士生/六年級

(3) E-mail/手機號碼：wumin753@gmail.com

Scale effect of the spatial correlation length used in stochastic Markov random field: A case study in the Taipei Basin

Hoai-Han Le¹, Jia-Jyun Dong^{1,2}, Yu-Chen Lu^{3,4}, Stefan Christopher Nicholas¹

(1) Graduate Institute of Applied Geology, National Central University, Taoyuan City 32001, Taiwan

(2) Earthquake-Disaster & Risk Evaluation and Management Center, National Central University, Taoyuan City 32001, Taiwan

(3) Department of Civil Engineering, National Central University, Taoyuan City 32001, Taiwan

(4) Institute of Materials Science and Engineering, National Central University, Taoyuan City 32001, Taiwan

Abstract

The stratigraphic model plays a fundamental role in earth science, geology, and geotechnical engineering. However, a 100% correct stratigraphic model is not always obtained, and stratigraphic model uncertainty is difficult to quantify. Recently, stochastic Markov random field (MRF) could simulate a series of potential stratigraphic models, which can provide information for stratigraphic uncertainty evaluation. One of the MRF parameters, spatial correlation length, a , controls the geometry in the MRF simulation. Although some studies have already investigated the influence of a on MRF simulation and proposed the calibration method for it, there is seldom literature to study the scale effect of a .

This paper presents the scale effect of the spatial correlation length of MRF. First, this paper selected a geological profile, referred to as the population profile, in the Taipei Basin as the study site. All soils from the boreholes were calibrated with geological knowledge and geological statistics. Then, several sub-profiles, referred to as the sampling profile, were obtained by cutting equal-sized profiles uniformly from the population profile. The sampling profiles were performed by MRF, and their a values were calibrated using the maximum likelihood principle by comparing simulation results with borehole data. A series of a under specific sampling profile sizes were obtained. Three sampling profile sizes were studied. The results show that as the sampling profile size increases, the mean of a presents a certain value and the uncertainty of a decreases. The representative sampling profile size could be further determined based on the acceptable uncertainty level of a .

Keyword: Markov random field, Stratigraphic model, Scale effect, Spatial correlation length

Borehole Densities induced Uncertainty in Heterogeneously Hydrogeological Models

Duc-Huy Tran¹, Shih-Jung Wang^{1,2*}, Jia-Jyun Dong^{1,2}

¹ Graduate Institute of Applied Geology, National Central University, Taiwan

² Department of Earth Sciences, National Central University, Taiwan

Abstract

A good hydrogeological model is critical for accurately predicting and managing groundwater flow and land subsidence. The distribution of the hydrogeological materials in an aquifer system is typically heterogeneous. Assessing the uncertainty associated with a heterogeneously hydrogeological model (HHM) is a challenge. This study employed data from 437 geological boreholes in South Choushui River Alluvial Fan, Taiwan, to investigate HHM uncertainty. Four cases were considered: case 1 (137 BHs), case 2 (237 BHs), case 3 (337 BHs), and case 4 (437 BHs), for generating HHMs. To address the uncertainty of HHM, this study proposes a uniform randomly selection and the Markov chain approaches to analyze the spatial characteristics of hydrogeological materials and generate HHMs. The coefficient of variation (CV) is used to quantify the uncertainty of the outcomes of HHMs. CV values at the 90th percentile of the cumulative distribution function of clay thickness are 0.319, 0.312, 0.309, and 0.308 for case 1, case 2, case 3, and case 4, respectively. The findings revealed that borehole density plays a role in reducing uncertainty, with low-uncertainty areas showing considerable improvement. With each increase in the number of geological boreholes, the area of low uncertainty expanded from 461.25 km² to 645.75 km² on a larger scale. Our study emphasizes the importance of geological borehole density in assessing the uncertainty of HHMs and highlights its significant impact on assessment accuracy, ensuring reliable situations. The uniform random selection method can be applied across various multidisciplinary studies.

Keywords: Uncertainty of heterogeneous hydrogeological model, Uniform randomly selection, Markov chain model, Stochastic analysis, Choushui River Alluvial Fan.

談「地質調查技術指引手冊」與工程地質調查之重要性

丁禕¹、陳勉銘²、許鈞傑²、陸挽中²、黃淳銘¹Ting, I¹, Chen, Mien-Min Chen², Hsu, Chun-Chieh², Lu, Wan-Chung², Huang, Chun-Ming¹

1. 財團法人中興工程顧問社

2. 經濟部中央地質調查所

臺灣地狹人稠，涉及土地利用之一般土地開發或工程建設繁多，而位處板塊交界帶且地質背景複雜的臺灣，其地質條件與特性，常造成各種地質危害風險，因此在進行土地利用與工程建設前，需進行充分之地質調查，釐清基地及鄰近地區之地質特性，以規劃合適之土地開發利用或工程建設設計。

然而，地質調查作業涵蓋領域廣泛，涉及之相關法規繁多，且各法令多僅就其重視之處予以規定，以致地質調查作業之內容及成果展現，常缺乏地質專業之科學性及統一標準。

而現實面上，許多土地開發申請或是工程開發所要求之地質調查報告，於開發單位送審之報告書中，內容常見以達成業主所要求之工作項目與數量，即視為完成地質調查報告，亦常直接引官方資料作為結論，缺乏根據適切的地質調查結果充分瞭解開發基地及其周遭環境之地質條件，及可能之地質災害機制與風險潛勢關聯性。另一常見型態係執行者將地質鑽探報告直接取代地質調查報告，忽略整體區域地質調查與基地地質調查所連貫之重要性與完整性。

爰此，經濟部中央地質調查所於2022年辦理「地質調查技術指引手冊草案」計畫，由財團法人中興工程顧問社負責執行。

地質調查之精神，誠如地質法第1條所言：「為健全地質調查制度，有效管理國土地質資料，建立國土環境變遷及土地資源管理之基本地質資訊，特制定本法」所言，即為「揭露土地之地質資訊」。為能充分揭露土地之地質訊息，本手冊草案編寫一套指引流程，旨在引導執行地質調查工作者，為了釐清土地之地質資訊，應如何規劃地質調查工作項目、如何配置，以及得到調查數據後，如何從調查成果中評估地質特性對基地之影響。

本手冊草案依地質科學之基本學理，研擬可應用於工程地質調查之建議流程。這套基本概念流程並非以列出特定工作項目與數量之制式化 SOP 為目標，而是以循序漸進

方式強調適合的地質調查工作方法，奠基於地質科學的基本學理與邏輯，從蒐集資料、規劃調查計畫、進行各種調查工作、得到現地與室內各數據結果、彙整出地質模型與圖資產出，最後整理成地質調查報告。

此流程強調從蒐集資料歸納出地質關鍵問題之重要性、區域地質調查與基地地表地質調查之不可取代性，以及從各項調查結果整理分析出結論的邏輯性。一個能充分揭露土地地質資訊的地質調查工作，需要完整清楚的前因後果與科學邏輯，並需建立在地質調查者具備足夠的專業能力的前提下，方得完成。因此，這個流程也揭示了地質調查訓練的重要性。只有受過完整的地質訓練者，具有良好之本質學能，才有能力分辨「以科學脈絡進行地質調查工作」，與「地質調查就是滿足契約工項與數量」之差異。

此概念可以「健康檢查」做為比喻。不同性別、年齡、地質、職業、生活方式、體況、家族遺傳…，面臨的健康風險不同，所需進行的健康檢查項目亦隨之不同。這種「客製化、量身訂做」的概念，也應適用於地質調查上。從業界普遍常見的地質調查報告中，多以制式化程序走完既定工項與數量即算完成地質調查，忽略每個基地所面臨不同的地質風險型態。地質調查正如同土地的健康檢查，是提供風險管理的良好方法之一，因此本手冊草案，亦規劃章節探討各目的事業主管法規中，如何規劃客製化地質調查。

延續上述概念，除不同空間與情境，「時間」也是影響地質調查規劃的重要變因。在同一基地同一土地開發案中，隨著不同工程開發階段，對地質調查的需求亦會隨之改變。初期以調查大範圍整體地質概況為主，爾後會逐漸需要進行高精度之地質調查，解決更深入之地質問題。因此，本手冊草案同時亦有特定章節，闡述在各類工程中，地質調查隨不同開發階段，有不同的調查目的與需解決不同的問題，並提出初步建議綱要。

最終，期能透過本手冊草案之編寫，有助於未來國內土地開發與工程建設之工程地質調查，更為成熟與進步。

關鍵字：地質調查、技術指引手冊、土地開發、工程建設、主管法規

Key words: Geological Investigation, Technical Guidelins, Land Development, Engineering Construction, Laws and Regulations

利用砂箱試驗初探斜移斷層潛移錯動高架橋群樁基礎之性能評估

劉育良¹、林承翰¹、林銘郎¹、楊恆偉¹

(1) 國立臺灣大學土木工程學系

摘要

自1999年集集地震以來，臺灣地震工程領域致力於解決地震發生時的斷層和結構物互制問題。然而，現有的設計規範卻鮮少考慮斷層長期潛移錯動對結構性能的影響。截至2023年止，中央地質調查所已公布36條活動斷層，而臺灣先天的地形條件，使線性結構物難以避免穿越斷層帶。因此，本研究旨在進行一系列縮尺砂箱試驗，其成果將能掌握斷層潛移在上覆土層中三角剪切帶的發展，並初步評估斷層潛移錯動下高架橋樑群樁基礎之性能。

本研究以臺灣高速鐵路穿越車瓜林斷層之路段作為案例，由遠域遙測調查和結構監測資料顯示，自2006年以來，高架橋樑受車瓜林斷層潛移錯動而存在約30公分的橋面偏移，且顯示右移和抬升的比例約為7:1。本研究採用縮小尺度(1:100)的物理砂箱試驗，以石英砂作為上覆土層之材料，並放入2×2群樁基礎。在給予不同斜向潛移之邊界條件下，同時比較關鍵因素，包括雷氏剪切角度、斷層擴展距離、三角剪切帶範圍以及樁帽三方向之位移變形等。

本研究結果顯示，樁帽水平向之位移與樁帽偏擺旋轉量(Yaw)對斜移斷層帶偏態有相關性，當斷層帶偏態明顯，樁帽水平向之位移量漸增而樁帽偏擺旋轉量(Yaw)則漸減。樁帽翻滾旋轉量(Roll)則在群樁基礎同時受抬升與水平錯動時，有較明顯之趨勢。根據模擬結果，群樁基礎三維位移、旋轉與其受潛移錯動之斷層型態有關。本研究將基於砂箱試驗成果，校合數值模擬的材料參數、模型邊界等條件，進一步進行全尺度高架橋群樁基礎之性能評估。

土壤液化潛勢調查分析與精進

葉家志²、紀宗吉¹、邱禎龍¹、蘇泰維¹、蕭秋安²、楊智堯²、周坤賢²

(1)經濟部中央地質調查所、(2)台灣世曦工程顧問股份有限公司

摘要

為提升全臺土壤液化潛勢圖資調查及分析評估之精確度，經濟部中央地質調查所自107年至112年辦理六年期土壤液化潛勢調查分析與精進計畫。於109-110年出版北部、中部及南部地區之都會區工程環境地質、臺灣土壤液化潛勢圖集與圖集說明書；更新土壤液化查詢系統網站。於111年完成包含歷史液化災害探討及補充調查、地下水觀測、三維地層輔助土壤液化分析精進研究、土壤液化調查成果專輯、土壤液化研討會等。

歷史液化災害探討於惠安街液化街區進行，共施鑽4孔，比較既有及新增調查鑽井試驗資料，進行土壤液化條件分析，著重探討地層材料分布、地下水位、地震加速度、致災斷層距離及人為條件差異，由案例分析可發現，某地是否發生液化除了其沉積材料之影響外，主要還是與其遭遇之地震加速度有關。

惠安街設計地震加速度為0.28g，其液化潛勢多中至低潛勢，美濃地震時最大地震加速度皆未達規範標準，卻發生嚴重之土壤液化情形。綜合所有包含建物、環境、地質、地下水等調查資料，惠安街土壤液化沉陷有幾個原因(1)魚塢回填，土壤強度較低、(2)地下水位因地震異常升高、(3)魚塢底部為具沉積沉理黏土層土壤液化沉陷發生在近地表處、(4)土壤液化區接近舊魚塢的土梗，使區域性建物下方的回填土壤厚度組成不均勻、(5)嚴重沉陷之建築物多為三層樓，且屬於獨棟建物，周圍噴砂但未沉陷之平房，為連棟建築。

另針對使用土壤材料試驗粒徑分析資料之三維地層資料庫建置，經測試以細粒料含量為主要依據判斷細粒料與砂之分類界線，而細粒料土壤之分類，本計畫依照統一土壤分類法土壤液性、塑性限度分類粉土與黏土，並且納入三維資料庫中。

為完整呈現說明土壤液化精進調查演進歷程，使經驗得以分享及傳承，本年度出版臺灣土壤液化災害調查與防災新思維專輯以科普方式介紹土壤液化現象，並記錄了臺灣的液化歷史災害，針對土壤液化案例進行調查、探討與評估，並簡述未來可能發展及展望，希望能夠提供讀者了解臺灣土壤液化調查發展的過程及脈絡，以及未來發展的願景。

關鍵字：

土壤液化、惠安街

使用無人載具精進地表地質勘查之方法

賴俊瑋¹、吳章諾¹、林瓊宏¹

(1)中興工程顧問股份有限公司

台灣本島因地理特性，山區地勢多屬陡峭且水系湍急。而部分大型公共工程(如水力發電、山岳隧道等)常位於山區或無既有路徑等區域，部分地質露頭亦常位於高聳邊坡或河谷，致使前期調查工作較不易藉地表地質調查獲取場址相關地質資料，如岩體之優勢不連續面。據此，近幾年已多採用無人載具影像測繪輔助並延伸地表地質調查範圍之方法，利用無人載具調查人員不可企及之區域，不僅可擴大調查範圍、增加工作效率，亦可降低調查人員工作風險，以符合職安精神。本研究分於武界及南化地區，配合地面測量(RTK)之地面控制點(GCP)，以無人載具航拍點雲測繪技術，擷取岩石邊坡之弱面位態資訊，並與人員利用傾斜儀測量之結果對比，以校核無人載具品質與誤差範圍。擷取自無人載具測繪點雲之岩石弱面位態，與人員量測結果顯示，於有 3 組 GCP 以上輔助之情況下點雲有良好的空間定位；1 至 2 組 GCP 輔助之情況下點雲有翻轉之現象；而未有 GCP 之情況下點雲僅在三維空間平移而無翻轉之現象。即，採用 3 組以上或無 GCP 輔助定位下計算出的岩坡弱面位態，可做為工程評估中真實位態之參考，惟依限制而無法布置 GCP 之場域，其弱面位態之位置仍須再審慎考慮定位誤差。故本方法應可做為調查人員無法抵達、或具相當危險性等困難地形之輔助調查手段。

中文關鍵字：地質調查、無人載具、點雲測繪

A thermally-conductive Martian core and implications for its dynamo cessation

Wen-Pin Hsieh^{1,2}, Frédéric Deschamps¹, and Yi-Chi Tsao¹

¹Institute of Earth Sciences, Academia Sinica, Taipei 11529, Taiwan

²Department of Geosciences, National Taiwan University, Taipei 10617, Taiwan

Mars experienced a dynamo process that generated a global magnetic field ~4.1–3.6 Ga. The cessation of this dynamo strongly impacted Mars' history and is expected to be linked to Mars' iron-rich liquid core thermochemical evolution, which is strongly influenced by the core's thermal conductivity. Here we directly measured thermal conductivities of solid iron-sulfur alloys to pressures relevant to the Martian core and temperatures to 1023 K. We then constrained the thermal conductivity profile throughout the Martian deep-mantle and core, indicating a ~4 to 6-fold discontinuity across the core-mantle-boundary. A Martian core with 16 wt% sulfur has a thermal conductivity of ~19 to 32 W m⁻¹ K⁻¹ from its top to the center, much higher than previously inferred from electrical resistivity measurements. The core's efficient cooling resulting from the depth-dependent, high conductivity diminishes thermal convection and forms thermal stratification, significantly contributing to cessation of Martian dynamo.

奈米鈦磁鐵礦合成與其磁性及熱導率之研究

吳玥箴¹、陳燕華¹、謝文斌²

(1)國立成功大學地球科學所、(2)中央研究院地球科學研究所

摘 要

鈦磁鐵礦(Titanomagnetites)為磁鐵礦(Magnetite)及鈦鐵尖晶石(Ulvospinel)間的固溶體，是火成岩及變質岩中常見的磁性礦物，因此被普遍應用於古地磁相關研究。因鈦磁鐵礦為固溶體，不同的鈦(Ti)/鐵(Fe)比例會影響鈦磁鐵礦的磁性性質。在自然界中較難找到各種不同Ti/Fe 比例且不含雜質的鈦磁鐵礦樣品，本研究以共沉澱合成法製作純相鈦磁鐵礦樣品，並分別以X 光繞射儀、掃描式電子顯微鏡附加能量分散光譜儀鑑定其結晶結構及Ti/Fe 比例，再以掃描式磁力顯微鏡觀察微觀磁性、超導量子干涉元件磁量儀量測巨觀M-H 曲線。此外，我們也結合高壓鑽石砧及加熱線圈以模擬鈦磁鐵礦分布環境之壓力及溫度，配合時間域熱反射技術測量不同溫壓條件下鈦磁鐵礦的熱傳導率，並分析其熱傳導率與磁性質的相互關係，希望藉此建立更加完整的鈦磁鐵礦熱傳導及磁性資料庫，以利往後研究能夠更詳細分析古地磁之演化及過程。

Alteration of rock fulgurite—an experimental approach

Tze Yuan Chen¹、Li-Wei Kuo^{1,2}

(1) Department of Earth Sciences, National Central University, Taoyuan 320, Taiwan、(2) Earthquake-Disaster & Risk Evaluation and Management Center, National Central University, Taoyuan 320, Taiwan

Abstract

Fulgurite, the product of lightning strikes, is one of the few natural materials with shock metamorphic characteristics (high temperature and high pressure). Despite the high potential productivity of fulgurite (10 pcs/s), fulgurite is rarely studied due to its easily altered nature (generally small volume, large surface area, and variable composition). In this study, we conducted hydrothermal experiments on rock fulgurite, aiming to investigate its alteration over time and different temperatures. The starting materials here were rock fulgurites which were formed by the lightning strikes on Kinmen-Island granitic gneiss in 2018. Fulgurite cubes (side = 3mm), as granitic gneiss covered with a glassy layer, were prepared and sealed in a metal-confined Teflon container with either pure water or dilute sulfuric acid (0.00026 N; as a weathering fluid). The apparatus was heated to temperatures ranging from 50 to 300 °C and held for periods ranging from 10 minutes to 117 days. The results can be divided into three stages by visual assessment, i.e. no discernible change, the growth of sub-millimeter hemispherical yellow secondary minerals, and the development of a reddish color in both the glassy layer and the liquid. Micro-analytical methods such as optical, scanning, and transmission electron microscopies, and Raman analysis will be performed to characterize the alteration of the rock fulgurite, which allow us to develop an experimentally constrained thermodynamic reaction of rock fulgurite alteration.

Keywords: fulgurite, lightning, glass, alteration, hydrothermal experiment

Simulation of thermo-hydro-mechanical-chemical evolution of fault gouges deformed at seismic slip velocities

Ching-En Kung¹、Chia-Wei Kuo²、Li-Wei Kuo^{1,3}

Thi Trinh Nguyen¹、Szu-ting Kuo¹

(1) Department of Earth Science, National Central University (NCU) 、

(2) Science and Technology Research Institute for DE-Carbonization (STRIDE-C), National Taiwan University (NTU) 、

(3) Earthquake-Disaster & Risk Evaluation and Management Center, NCU

Abstract

Taiwan is located on the convergent boundary between the Philippine Sea Plate and the Eurasian Plate, resulting in catastrophic geological hazards from large earthquakes. Catastrophic earthquakes are often associated with large coseismic slips localized in relatively thin slip zones. Within the slip zones, water-saturated, clay-rich gouges are common components at shallow crustal depths. Therefore, understanding the strength and frictional behavior of clay-rich gouges is crucial for earthquake physics and seismic hazard assessment. To reproduce the slip process hidden in the crust during the earthquake, we use the rotary-shear-type experiment and gain the friction coefficient μ (the ratio of shear stress to normal stress). Typically, the experiments show friction drop due to the physicochemical process controlled by temperature and pressure (T-P) variation, which are not easy to measure.

Here, to estimate the T-P evolution during the experiment, we use a comprehensive simulator, THMC2D (Thermal-Hydraulic-Mechanic-Chemical Processes, developed by CAMRDA at NCU), which couples fluid flow, hydrological transport, and heat transfer in two dimensions. Mechanical data show that under fluid undrained conditions, μ increased to a peak value, μ_p , of ~ 0.4 , followed by a dramatic weakening with increasing displacement to a steady state value, μ_{ss} , of ~ 0.2 . In contrast, in the drained condition, μ_p is about 0.3, while, in particular, a re-strengthening with increasing displacement after reaching the steady state, μ_{ss} , is about 0.2. Simulation results show that (1) a rapid increase in pore pressure is responsible for the observed frictional weakening, and (2) a sudden temperature drop is responsible for the thermal decomposition of the clay minerals. This model helps us to better understand earthquake physics and frictional processes within fault gouges during experiments.

Frictional properties of water-saturated clay gouges during seismic slip

Thi Trinh Nguyen¹, Li-Wei Kuo^{1,2}, Szu-Ting Kuo¹

(1) Department of Earth Sciences, National Central University, 32001 Taoyuan, Taiwan,
(2) Earthquake-Disaster & Risk Evaluation and Management (E-DREaM) Center,
National Central University, 32001 Taoyuan, Taiwan

Abstract

Clay minerals, illite, smectite, chlorite, and kaolinite, are dominant in fault zones at shallow depths. Because most of the strain was accommodated within the fault zone during earthquakes, investigating the frictional properties of clay minerals plays an important role in understanding earthquake physics. Here, we conducted rotary shear experiments on synthetic clay minerals, including illite and smectite powders at a normal stress of 10 MPa, and a velocity of 1 m/s under controlled drainage conditions. The total sheared displacement is ~4m. The results showed that under drained condition, in illite gouge, the apparent friction coefficient (μ) initially achieved a value of ~0.24 due to the cohesion of illite itself, and then gradually increased with cumulative slip, exhibiting as a typical slip-strengthening behaviour. In contrast, in smectite gouge, μ initially achieved a peak value of ~0.20, then dramatically weakened and achieved steady-state values of ~0.05 until the end of slip, exhibiting a typical slip-weakening behavior. After shearing, the slip surface of the illite became dark, while that in smectite remained the same. The physical and chemical processes involved remain unclear and will be determined by detailed characterization of the gouge layer prior to the TGA meeting.

Microstructures and polytypism of transitional enargite from the Penshan orebody in the Chinkuashih high sulfidation epithermal Cu-Au deposit

金瓜石高硫化型淺溫熱液礦床本山礦體過渡型硫砷銅礦之微組構與同質異構

Ko Chun Huang¹, Yo-Chun Chuang¹, and Wei-Teh Jiang¹

1. Department of Earth Sciences, National Cheng Kung University, Tainan City, Taiwan.

Ideal enargite consists of an hcp-like ABAB... stacking sequence of tetrahedral layers. However, fine streaks revealed by reflected light microscopy for enargite have often been encountered in high sulfidation ore deposits. Enargite with such a “defective” feature is consistently adjacent to luzonite and was suggested to be a transitional product of hydrothermal growth associated with temperature and/or composition fluctuations at the lower mining levels of the Penshan orebody in Chinkuashih. The “defective” enargite displayed either unidentifiable or mixed enargite-luzonite signal spots in EBSD phase maps. In order to understand the nature of the transitional enargite in relation to optical streaks, HRTEM was used to characterize its microstructures and structural variations. Electron diffraction patterns of the “defective” enargite suggested the presence of disordered and ordered stacking sequences of tetrahedral layers. The former was depicted by the presence of diffuse odd- and sharp even-order $00l$ reflections and shifted $0kl$ reflections consistent with a disordered stacking, a loss of the 2-fold screw symmetry, and a deviation from the orthorhombic symmetry for ideal 1C enargite. The ordered 2C and 9R polytypes were characterized by the presence of $00l$ and hkl superlattice reflections having periodicities of ~ 1.2 nm and ~ 2.7 nm, respectively. HRTEM images indicated that the 2C polytype has a 4-layer periodicity of ABACABAC... with an apparent orthorhombic symmetry and the 9R polytype has a 9-layer periodicity made of ABCBCACAB units with an apparent rhombohedral symmetry. Epitaxial growth of mixtures of disordered enargite and ordered enargite including 1C, 2C, and 9R polytypes, locally associated with luzonite-like layers and twinning can occur within single transitional enargite grains. These features and optical streaks are characteristic of the Penshan “defective” enargite indicative of transitional growth from luzonite to enargite or vice versa.

關鍵詞：硫砷銅礦、同質異構、金瓜石

Keywords: Enargite, Polytypism, Chinkuashih

車瓜林斷層至中寮隧道間泥岩區之顯微組構及其大地應力之研究

吳季芹¹、龔慧貞¹、陳燕華^{1*}、李耀昌²、胡宇光²、許火順²、李之釗²

(1)國立成功大學地球科學系

(2)國家同步輻射研究中心

摘要

位在臺灣南部之車瓜林斷層與旗山斷層被歸類於第一類活動斷層，兩條皆呈現東北-西南走向，二者在經過國道三號時距離最近，本研究由車瓜林斷層向西至旗山斷層間作為研究區域，而該地區岩性為上新世至更新世之古亭坑層泥岩，夾雜少許薄砂岩；泥岩之延展性不足且膠結不良，故遇水易膨脹，係為不透水層。

在粉末繞射的半定量實驗中，得知泥岩內部是以石英與長石類礦物為主，黏土礦物則有斜綠泥石、高嶺石、伊萊石等，黏土礦物其中之含水量越多，會導致岩石整體強度下降；另岩層裂隙中亦含有黃鐵礦與方解石之填充，此兩種礦物因具錯動潛移及低摩擦係數，故會降低岩石之機械強度（使其更易弱化）。

泥岩受大地應力作用擠壓後，從而在內部產生破裂之情形，藉由 X 光斷層掃描之影像，發現岩石中的破裂面大致呈現西北-東南走向，故此地之最大主應力方向為東南-西北向。拉曼光譜可測得岩石內礦物之拉曼位移，本研究選用石英作為應力指標礦物，結果發現：樣品在接近斷層處其拉曼偏移量高於遠離斷層處之偏移量約 1 到 2 個波數位移；若以 Schmidt & Ziemann (2000) 之經驗公式計算，其應力大小約為 167.1 MPa。

關鍵字：車瓜林斷層、古亭坑泥岩、顯微組構、大地應力

屏東恆春半島地區碳氫化合物液包體水晶的特徵研究

The Features of Hydrocarbon Fluid Inclusions in Quartz from Hengchun Peninsula,
Pingtung

李毓和^{1*}、吳冠何¹、陳惠芬¹

Yu-Ho Li^{1*}, Kuan-Ho Wu¹ and Hwei-Feng Chen¹

¹ 國立臺灣海洋大學地球科學研究所

摘要

本研究主要探討在屏東恆春半島區域發現的一類在 365nm 波長紫外線激發下，內部的液包體 (fluid inclusions) 會發出螢光的水晶，其內液包體在紫外燈下的螢光特徵與可能的發育環境。此類標本之產狀主要呈短雙錐狀之結晶外形，以數毫米至約一公分大小的透明晶體發育在硬頁岩中的薄層砂岩解理裂隙內，並常見與方解石及少量的重晶石一同伴生，而具有螢光特性的液包體主要存在水晶與方解石中。發現樣本之地層主要屬於晚中新世的牡丹層中的獅子頭砂岩及里龍山砂岩的下段，變質度極低，主要分屬於成岩帶，且其中並無明顯石英脈發育。根據水晶樣本鏡下觀察，樣本中液包體螢光色澤的變化，其螢光由晶體內而外呈現出黃色>綠色>藍白色的改變，顯示其內碳氫化合物之成分在水晶不同的發育時期成熟度亦發生變化，另根據液包體均化溫度 (homogenization temperature) 量測之結果，其封存溫度約落在攝氏 176 度以內。如假設以平均低溫梯度 30°C/km 來估算原始的發育環境，這些水晶可能原發育自地下深約 5 公里處。這顯示屏東恆春半島地區之晚中新世地層中過往可能有少量的碳氫化合物(油氣)存在，且水晶發育的過程中可能伴隨著區域構造抬升作用的影響或碳氫化合物流體的移棲及分異作用。

關鍵字: 恆春半島、油膽水晶、螢光液包體、碳氫化合物液包體、石油氣

Key words: Hengchun Peninsula, petroleum quartz, fluorescent fluid inclusions, hydrocarbon-bearing fluid inclusions, oil gas

解析或預測礦物振動光譜輔助工具：第一原理計算方法

龔慧貞¹、簡廷翰¹、花天享¹、鄭靜²

(1)成功大學地球科學系、(2)成功大學物理系

摘要

振動光譜(即拉曼與紅外光譜)是一其物質振動頻率與其強度的二維圖譜，其反映物質晶體結構及化學成分、化學鍵的強度或其結構在營力(溫度、壓力等)作用之變化。光譜特徵峰振動頻率反映物質中的不同結構分子與激發光源作用下不同振動型式的結果;包括拉伸、彎曲和扭曲，形成這物質的特有的‘指紋’。其光譜除了用在快速鑑定物質以外，更可進一步獲得其物質基本熱力學性質及傳導性質等。振動光譜不同於實驗所得X光繞射圖譜；可經由繞射理論以幾何演算法來解析其原子排列方式。振動光譜之特徵振動峰與其結構之關係須經由理論計算或模擬來解析，「第一原理計算」是一個最常使用的方法。

第一原理計算是一種以量子力學、電子結構理論基礎的計算方法，來模擬和預測材料的物理和化學性質。其準確性已獲得普遍的認可，且已被廣泛應用各個領域的研究。在地球科學領域中，此方法被廣泛應用於地球內部物質的研究，例如礦物的結構、熔融、地球內部物質的熱力學性質和電學性質等。由於振動光譜資訊提供物質最基本物理性質也是最基本的物理量測 故振動光譜結合第一原理計算已成為是在每個領域必然/必要的趨勢。第一原理計算所採用的計算方法有好幾種。以下工作是以密度泛函理論 (Density Function Theory, DFT)為計算方式；其物質的能量泛函是以電子密度作為主要變量進行計算。

在此會議中，我們將呈現三個主要成果;1) 結合理論計算與X光單晶量測來解析輝石拉曼振動模行為與成分的關係，2)結合鋰輝石高溫相變實驗以理論計算模擬其從未被量測之高溫相之拉曼圖譜，3)以理論計算探討鑽石缺陷之振動光譜表徵。

應用優化之多時域雷達干涉技術處理流程進行慢滑移山崩地 表變形監測

呂喬茵¹、詹瑜璋²、胡植慶³、邱俊穎³、朱崇銳¹、曾佳漢⁴、張志新¹

(1)國家災害防救科技中心、(2)中央研究院地球科學所、(3)國立台灣大學地質科學系、(4)中國文化大學地質學系

摘要

慢滑移山崩(slow-moving landslide)一詞最早出現於 20 世紀初，定義為土壤和岩石在不連續面上緩慢的滑動或如黏性流體般移動，其移動速度從每年幾毫米到幾米不等。而臺灣存在超過 2,500 處潛在崩塌區，在颱風和豪雨季節來臨前，能廣泛且有效的監測這些不穩定邊坡的活動性是非常重要的議題。隨著科技與技術的發展，合成孔徑雷達衛星的再訪週期短已縮短至 6-12 天，可大範圍且不受天候日照的影響提供觀測資訊，因此，本研究將利用多時域雷達干涉技術(Multitemporal interferometric SAR, MTInSAR)，進行慢滑移山崩之地表變形監測，透過優化介接兩套雷達影像分析軟體 SNAP 與 StaMPS 的開源套件 snap2stamps，將原本僅能生成一處研究區域之干涉圖的流程，優化為可同時生成多處研究區域之干涉圖的流程，並將新套件命名為 multi-snap2stamps，將繁瑣的處理流程半自動化，節省監測全台多處慢滑移山崩區域所需耗費的電腦資源、時間與人力。在這邊將以 2019-2021 年 Sentinel-1A/B 升軌與降軌的影像為例，進行臺灣多處慢滑移山崩區域之 MTInSAR 分析，以監測這些地區的地表變形情況，並進一步探討其活動性與變型特徵，期能更了解這些慢滑移山崩的位移特性，以做為未來山崩災害預警、前兆運動相關研究之參考資訊。

關鍵字：多時域雷達干涉技術、合成孔徑雷達影像、慢滑移山崩、地表變形監測

區域型邊坡落石地動自動監測技術開發

朱崇銳¹ Chu, Chung-Ray
國家災害防救科技中心

劉哲欣¹ Liu, Che-Hsin
國家災害防救科技中心

張志新¹ Chang, Chih-Hsin
國家災害防救科技中心

摘要

當坡地災害發生時，土砂移動過程中會與地表產生複雜的撞擊與摩擦行為，因而產生地動。藉由地動監測設備捕捉落石災害所引發的地動訊號，可準確取得災害發生時間點，也具有遠距離且長期監測的優勢。由研究文獻的相關成果可知，大規模崩塌所產生的地動訊號，可由國家級地震網取得地動訊號，然而對於區域型的淺層崩塌、邊坡落石災害等，則受限於測站密度不足而無法測得，必須藉由區域型地動網的設置，才有機會近距離取得災害所造成的地動訊號。本研究以道路邊坡落石為監測目標，選定苗栗縣南庄鄉鹿湖崩塌區作為研究場域，裝設四組地聲計監測落石所產生的地動訊號。鹿湖崩塌區於2018年發生崩塌事件後，地表裸露加上日曬與降雨導致坡面上不穩定的土石材料頻繁崩落，因此適合作為本研究監測場址。本研究嘗試建立自動化分析技術，以機械學習為基礎建立訊號判釋流程；然而區域型地動網設置於道路邊坡並鄰近聚落，容易記錄大量噪訊，嚴重干擾機械學習模型的訓練品質，因此本研究以短時平均與長時平均比 (short term average/long term average, STA/LTA) 結合峰度檢測法 (Kurtosis picking)，建立訊號偵測機制，再由訊噪比 (signal-to-noise ratio, SNR) 與交互相關分析 (cross-correlation, CC)，去除環境所造成之噪訊，以最後合格訊號樣本作為機械學習資料庫，取得更佳的判釋成果。本研究以2019年5月至2020年6月共1年多的地動記錄測試，從結果可知在近60萬筆的訊號中，合格樣本約5千筆，其中噪訊僅剩約2%；此外，以隨機森林建構的分類模型中，整體分類正確率可達95%，其中落石的分類正確率可達89%。

Daman Post Failure Landslides: Real-time Warning System by Parameter-based Method and Deep Neural Network

Jui-Ming Chang, Wei-An Chao

Department of Civil Engineering, National Yang Ming Chiao Tung University, Taiwan

Abstract

The Daman Landslide has blocked one of the three cross-island roads in Taiwan since October 2022, leading to repeated post-failure landslides (PFLs) that pose a safety risk to workers and road users. In response, we installed two geophones near the landslide's crown and toe to monitor PFLs in a real-time scheme. We categorized PFL events through videos into Type I and Type II based on their termination locations of slopes above or beneath the road, respectively. The crown seismic station recorded Type I events, while both seismic stations documented Type II. To detect and classify PFLs, we developed a parameter-based system using 11 user-defined seismic parameters. This system detected 1,597 Type I and 1,779 Type II PFLs between October 27, 2022, and January 10, 2023, achieving an overall accuracy of 84%, confirmed by 125 videos. As the number of PFLs increased over three months, we obtained a sufficient dataset of PFL spectrograms to develop a Deep Neural Network (DNN) model with VGG16 architecture. However, frequent earthquakes affected the model's performance, so earthquakes were also included in the classification model. Additionally, to present spectrogram features of PFLs and earthquakes in one image, we concatenated the spectrograms of both seismic stations vertically for the DNN. In total, 136,888 spectrogram images from equal numbers of three target labels were obtained. These images were split into a dataset of train, validation, and test with ratios of 0.6, 0.2, and 0.2, respectively. After training the DNN for 150 epochs, the model achieved an accuracy of 0.98 for classifying the three labels. We concluded that the parameter-based system could be implemented quickly but cannot detect whole events, while the DNN requires a large dataset to train a robust model. Both systems have pros and cons; therefore, a hybrid classifier combining the parameter-based and DNN models is a solution to provide timely and precise source identification for warning systems.

Keywords: Deep neural network (DNN), Post-failure Landslides, Two-station-based Spectrograms, Real-time Warning System

山崩潛感因子最適尺度探討

黃春銘¹、李錫堤²、簡留玄¹、謝有忠³、林錫宏³、紀宗吉³

(1)財團法人中興工程顧問社、(2)國立中央大學應用地質所、(3)經濟部中央地質調查所

摘要

山崩潛感分析已發展多年，雖方法學已趨於成熟，然而山崩潛感模型的優劣仍受控於建模時的山崩目錄可靠度及高效度因子的選取。在廣域資料取得不易的狀況下，多數潛感分析採用之因子，可由來源分為四類，包括地形(坡度、坡向、粗糙度…等)、地質(岩性)、區位(道路距、斷層距…等)及促崩(降雨強度、愛氏震度…等)，其中由數值地形產製之地形類因子占最大宗。尺度在不同學科領域有不同的意義(Goodchild, 2001)，而在山崩潛感分析方面，常以解析度或網格大小來定義尺度，改變解析度即為改變尺度。過往數值地形解析度較低時，一般可藉由提升解析度即可增加山崩潛感的正確率，但目前高解析度數值地形分析之山崩潛感成果表現卻非如此，當數值地形的解析度提升至10m後，反而造成潛感分析的效益逐步降低(黃春銘, 2018)。Goodchild (2001)提出以不同大小的移動視窗來決定尺度，以不同大小的移動視窗對數值地形平滑化，再使用3x3網格計算不同平滑程度的因子值。除此之外，李錫堤(2020)進一步提出「大核心網格法」，使用平滑化後的數值地形計算不同大小的核心網格的因子值，顯示最適尺度為重要研究課題。本研究以霧社水庫集水區為測試區，建立2007年聖帕颱風、2008年辛樂克颱風及2009年莫拉克颱風等三個颱風事件之誘發山崩目錄，嘗試針對地形相關因子進行分析，包括：坡度、坡向、地形粗糙度、坡度粗糙度、平面曲率、縱向曲率、切向曲率及總曲率等，參照山崩潛感模型的評估方式，以成功率曲線的曲線下面積大小決定各因子之最適尺度，並探討不同事件下最適尺度的異同。

潛在大規模崩塌分類分級方法學初探

陳德偉¹、吳庭瑜¹、魏倫璋¹、黃春銘²、簡留玄²、楊哲銘³、曾佳漢⁴、
謝有忠⁵、林錫宏⁵、紀宗吉⁵

(1) 財團法人中興工程顧問社深地質研究專案計畫、(2) 財團法人中興工程顧問社防災科技研究中心、(3) 國立聯合大學土木與防災工程學系、(4) 中國文化大學地質學系、
(5) 經濟部中央地質調查所環境與工程地質組

摘要

台灣近年之敏督利颱風、桃芝颱風、莫拉克颱風等帶來豪大雨，導致許多大規模崩塌之發生並造成生命財產損失。在莫拉克風災事件後至今，地調所已針對台灣全島之潛在大規模崩塌進行判釋，截至目前已判釋達2,500處潛在大規模崩塌。然而，因現階段仍缺乏適合之分類與分級標準，故不易提供防災策略規劃、山崩與地滑地質敏感區劃設參考使用。

本研究針對大規模崩塌分類分級方法進行初步研擬，大規模崩塌分類方法綜整國內外山崩分類方法後，採用階層式方法進行系統性分類，並將基本資料建置於屬性表中以供後續分類及分析使用。而大規模崩塌分級方法，則參考日本地滑學會等學者發表之邊坡防災危險度，其主要以層級分析法(Alytic Hierarchy Process Theory, AHP)依據崩塌區位、發育階段與活動度高低進行評估給予量化分數，同時亦參考挪威地質調查所(NGU)針對大型岩坡破壞所建議之災害與風險分級系統，綜合考量後，擬訂適用於台灣之大規模崩塌分級評分方法，並建立大規模崩塌潛勢分級標準作業程序，以供後續2,500處大規模崩塌實作填表使用。

本研究利用初步擬訂完成之大規模崩塌分類分級表，進行30處大規模崩塌之室內實作填表，並選取其中23處完成野外調查並與室內填表成果進行比對及討論。分析結果顯示，目前之分類分級方法合理且具可操作性，不同填表人員之評分結果也具有一致性，故後續將進一步應用於地調所目前已判釋之2,500處大規模崩塌分級使用，最終期能對大規模崩塌進行初步分級以瞭解其危險程度。

關鍵字：大規模崩塌分類、大規模崩塌分級、層級分析法

Monitoring and analyses of movement patterns and mechanisms of dip-slope landslides: A dip slope case in urban Taipei

(1) Chia-Han Tseng, (1) Chao-Kai Chen, (2) Alvian Yanuardian, (2) Jia-Jyun Dong, (3) Ruey-Juin Rau

(1) Department of Geology, Chinese Culture University, Taipei, Taiwan

(2) Graduate Institute of Applied Geology, National Central University, Taoyuan, Taiwan

(3) Department of Earth Sciences, National Cheng-Kung University, Tainan, Taiwan

In the Beitou District of Taipei City, the Chilian Mountain is composed of sandstone of the Mushan Formation formed in the Pleistocene. It is a typical dip slope for both the dipping direction of the bedding and its slope surface is toward south. According to the survey and remediation over years, it is found that not only small-scale shallow slump but also underground 3 cm displacement happened. In order to understand the reason of the displacement, field investigations on site were carried out, including weathering degree, geological structures and outcrop distribution. As a result, a shale layer also forms in the southwestern part of the campus in addition to the sandstone. Furthermore, sub-vertical and open joint planes widely form within the sandstone and shale layers, indicating that rainfall can easily infiltrate into deep rock formation and weaken deep shale material. According to the rock core data within the campus, the sandstone layer shows staining, pointing out that groundwater rose and fell within the region obviously. Numerical modeling is also applied to analyze the stability of the Chilian Mountain dip slope under the conditions of maximum and minimum groundwater level and sub-vertical joint planes existing or not. The results show that the highest FS of 1.538 exists when the slope has minimum groundwater level with sub-vertical joint planes, while the lowest FS of 1.097 appears when the slope has maximum groundwater level without sub-vertical joint planes, showing that the stability is slightly higher than that in the critical condition. Besides, both in these two

situations, the initial position of the underground sliding surface appears nearby the displacement of 3 cm recorded by the inclinometer M8 in the remediation report. Based on the results of the survey and modeling in this study, it is suggested that drainage of the groundwater is still the most effective method to maintain the slope stability.

Keywords: Dip slope, Numerical Modeling, Continuous GPS, Landslide displacement

無人飛行載具於露天礦場邊坡監測之應用

蘇聖天^{1,2}、徐濤德¹、王昱¹、李易諭¹、廖治豪²
臺灣大學地質科學研究所¹、經濟部礦務局²

摘要

目前臺灣之礦業以露天開採的大理石及矽砂為大宗，而露天礦場最常發生之事故為落石及崩塌災害，經常造成生命與財產損失。為達到以低成本方式對此類災害預警之目標，本研究嘗試利用無人飛行載具(Unmanned Aerial Vehicle)針對礦場邊坡進行其穩定性監測。位於苗栗縣南庄鄉的桃源興業矽砂礦場於2021年1月曾發生東南側邊坡崩塌事故，因此本研究以該礦場為研究對象，於2021年10月開始，使用無人飛行載具於不同時間拍攝其邊坡。截至2022年11月共取得五期影像，並藉由Agisoft Metashape 商用套裝軟體提供之運動推斷結構(Structure from Motion, SfM)技術建置礦場3D點雲及數值地表模型(Digital Surface Model, DSM)，再配合CloudCompare 軟體進行不同期點雲比對。

根據2022年3月取得之影像與前期比較，本研究發現礦場西北側邊坡有滑動趨勢，配合6月進行現地調查，發現該處邊坡有出現冠部崩崖、蝕溝裂隙等山崩前兆現象，隨即將此資訊提供礦場相關人員以進行處置，成功防止崩塌災害再次發生。經處置後，同年8月、10月、11月再度取得三期影像並進行比對，發現該礦場西北側邊坡目前已無先前大規模滑動之跡象。

本研究結果顯示利用無人飛行載具針對露天礦場邊坡進行監測，或可有效預警礦場邊坡之崩塌災害。由於目前無人飛行載具取得容易，且相關軟體的使用門檻亦不高，因此運用於防範礦場邊坡崩塌上，具有很大的應用價值。

關鍵字：無人飛行載具、礦場邊坡崩塌、礦場邊坡監測、Agisoft Metashape、CloudCompare

- (1) 就讀學校：國立臺灣大學/指導教授：徐濤德博士
- (2) 學位：碩士/年級：四
- (3) E-mail：z25529766@gmail.com

土壤液化監測場址建置與動態評估暨展示系統開發

王金山¹、譚志豪¹、陳憶璇¹、冀樹勇¹、謝有忠²、邱禎龍²、盧詩丁²

(1)財團法人中興工程顧問社、(2)經濟部中央地質調查所

摘要

臺灣位處環太平洋地震帶，地震頻仍。當大規模地震發生時，經常伴隨相關土壤液化災害。土壤液化發生的原因除需有足夠大的震度與延時作用外，亦須有砂質土壤與高地下水位兩項構成要件，故土壤液化容易發生在河川下游沖積平原、砂質海岸或人工水力回填新生地等地區，且具有地域性與重複性。土壤液化除產生地表冒水、噴砂現象外，甚至導致道路開裂、建築物下陷傾斜、護岸堤防側潰、地下維生管線斷裂等損害。嚴重者甚至造成建築物破壞受損，間接造成民眾財產損失與影響居住安全。因此，針對土壤液化高潛勢區域建立一套有效的監測物聯網技術及近即時動態評估暨展示系統，以提供相關業管單位防救災資訊參考實為當前刻不容緩之工作。

有鑒於此，本研究選定歷史液化災區(或具備高土壤液化潛勢之場址)進行土壤液化監測物聯網之建置，針對地表三軸加速度計、動態水壓計及地表沉陷計…等物理量進行相關量測。藉以獲得場址現場相關量測參數供後續土壤液化動態評估系統進行近即時(near real-time)土壤液化評估運算與相關成果產製。此外，本研究透過整合所彙整之龐大鑽探資料與近即時之土壤液化監測物聯網量測成果，進行土壤液化動態評估暨展示系統之開發。該系統具備：(1)土壤液化監測場址量測資料展示、(2)土壤液化動態評估及展示及(3)近即時地震液化潛勢分析及空間成果展示…等功能。

目前本研究已完成3處土壤液化監測場址建置，其中宜蘭縣壯圍區監測站至今已歷經璨樹(CHANTHU)強烈颱風事件及10餘場顯著有感地震事件，皆取得地震期間連續且完整之紀錄，顯示本研究所建置土壤液化監測站系統之可靠度及資料取得之完整性，惟目前為止各地震事件之震度規模尚不足以產生土壤液化現象。

關鍵字：土壤液化、監測、物聯網、動態安全評估

Keywords: Soil liquefaction, Monitoring, IOT, Dynamic safety assessment

Earthquakes and seismic hazard in the footwall of a subduction zone, New Caledonia, South Pacific

Chin, S.¹, Sutherland, R.¹, Savage, M.¹

1. *School of Geography, Environment and Earth Sciences, Victoria University of Wellington, Wellington, New Zealand*

New Caledonia is on the Australian plate, which is subducting beneath the Pacific plate at the New Hebrides-Vanuatu subduction zone. Continental geological structure in New Caledonia combined with outer rise uplift has created land. In the project ITOPNC, 12 broadband seismometers were deployed for 14 months in 2018-2019 to supplement six permanent stations on the main island and three permanent stations on nearby islands. We generate the first published earthquake catalogue and local magnitude (M_L) function for New Caledonia. Local earthquakes mostly had hypocentres shallower than 20 km. Our M_L estimates for 107 earthquakes in the subduction zone are consistently 1.1 units smaller than M_w and mb over a range from 4.5 to 7.5, as determined by the USGS. Residual analysis of ground accelerations highlights the discrepancy between M_L and M_w , and demonstrates that subduction zone hazard is currently overestimated and new ground motion prediction equations are needed for subduction zone footwall settings. Seismicity rates in New Caledonia are low, but the probability of $M_L > 5$ earthquakes is 2.7 times higher than elsewhere in the northern Australian plate. Shaking hazard in southern New Caledonia is dominated by local moderate-magnitude earthquakes, rather than large-magnitude subduction events. Focal mechanisms are mostly normal faulting in southern New Caledonia, and consistent with nearby slab pull and topographic stresses. We observe changes in stress state and increase in local seismicity rate for several weeks after the M_w 7.5 earthquake on 5 December 2018 in the New Hebrides-Vanuatu subduction zone. Similar increases in local seismicity rates are also found after past large ($M_w > 7$) nearby earthquakes.

大屯火山群及鄰近火山的Ar-Ar與U-Th/He不平衡定年 年代

李元希¹、Daniel P. Miggins², Mae Marcaida³, Karl Jab 同作者¹、共同作者¹、共同作者²

(1)國立中正大學地球與環境科學系、(2) College of Earth, Ocean, and Atmospheric Sciences, Oregon State University、(3) Department of Geological Sciences, Stanford University、(4) 國立台灣大學地質學系

摘要

本研究執行臺北都會災防科學任務(III)－洞察台北都會周遭火山來源及潛在衝擊中大屯火山群及鄰近區域火山定年工作，本研究利用Ar-Ar定年及鋁石U-Th不平衡定年法，分析大屯火山噴發年代及其在岩漿庫中可能年代。Ar-Ar定年中，我們進行基質及斜長石年代，其中斜長石代表礦物於岩漿庫年代，較基質年代較老。

在龜山島中基質年代有 16.7 ± 1.6 ka及 27.1 ± 1.5 ka。在磺嘴山我們定了5個樣本，基質年代分別為 112.9 ± 5.2 ka, 140.3 ± 3.3 ka, 138.5 ± 3.2 ka, 141.2 ± 2.1 ka, 145.2 ± 4.9 ka, 小油坑鑽井200m公尺深處基質年代為 72.1 ± 8.7 ka, 擎天崗鑽井52m處基質年代為265ka。

鋁石U-Th不平衡年代代表岩漿庫年代，在紗帽山最年輕鋁石年代為 23.5 ± 2.2 ka, 七星山 71.0 ± 5.7 ka, 東北側的丁火巧山的西側及東側年代分別為 122.6 ± 8.2 ka與 204 ± 31 ka。

這些Ar-Ar年代比較過去定年年代更為年輕，主要原因除儀器有較高的精密度外，在定年中我們將基質與礦物分離，基質年代表噴發年代，鋁石U-Th不平衡年代亦有類似結果。此結果顯示許多大屯火山群的噴發年代需重新檢視。

基隆火山群安山岩岩象學與石英來源之再探討

A further study on petrography and the origin of quartz in the andesite from Chilung Volcano Groups

許敏柔^{1,*}、賴昱銘¹、林毓潔^{1,2}、李皓揚³

(1)國立臺灣師範大學地球科學系、(2) 國立臺灣大學地質科學系、

(3) 中央研究院地球科學研究所

摘要

基隆火山群包含了六個火山體，分別是台灣本島的基隆山、武丹山、本山、草山、雞母嶺，以及基隆外海的基隆嶼。在前人文獻中，基隆山與基隆嶼的形成年代皆為距今約一個百萬年前左右(鉀氬定年法與氬氬定年法)、兩者地理位置相距不遠、兩者皆為含有石英之安山岩(或石英安山岩)，依據上述原因，將基隆嶼歸屬於基隆火山群的一員。然而，前人的核飛跡定年，以及近期的鋯石鈾鉛定年研究均顯示：基隆嶼的年代應為0.3-0.4 Ma，與近期針對基隆山同樣使用鋯石鈾鉛定年的結果相異(仍為1 Ma)。並且由鋯石鉛同位素分析結果，顯示基隆嶼的鋯石鉛同位素值比起基隆山，更接近於大屯火山群的同位素值。另外，台灣北部火山的火成岩中，僅在基隆火山群發現能以肉眼辨認出石英斑晶的火成岩，並且在前人研究中，因對此石英斑晶的特性與成因解釋不同，而在火成岩岩性的分類上有所差異。

本研究針對基隆山與基隆嶼的地表露頭與岩心分別進行採樣，亦另外針對圍岩的新近紀地層進行採樣輔以比較。利用岩象觀察(製作岩石薄片)及礦物計數、掃描式電子顯微鏡分析(觀察礦物結晶外型)、火成岩全岩主量與微量元素地球化學分析、全岩的鋁同位素分析等方法，比較基隆山與基隆嶼的火成岩中的各項資訊之異同，以及以圍岩中石英顆粒的外型作為對比，進而探討兩者形成的地質環境以及基隆火山群火山岩的石英來源。

Magma Evolution from Storage to Eruption in Reservoirs beneath Tatun Volcano Group

Guo-Teng Hong^{1,2}, Kuo-Lung Wang^{1,3}, Cheng-Hong Chen¹,
Yoshiyuki Iizuka³

¹Department of Geosciences, National Taiwan University

²Regional Geology Division, Central Geological Survey, MOEA

³Institute of Earth Sciences, Academia Sinica

Abstract

Volcanic activity associated with Tatun Volcano Group (TVG) has become a great concern for capital security recently. This study aims to find the TVG magma stagnation depth as a proxy of the reservoir depth by utilizing mineral thermobarometry and to provide constraints on potential magma reservoir existence. With both the calculated pressure (P)-temperature (T) paths and ascent rates of sequential magma units in boreholes, the previous TVG eruptive behavior could be constructed and examined for its potential hazard assessment. 33 rock samples are collected from four magmatic units in a borehole drilled at Mt. Tatun in this study. Among 5 of them, 47 mineral targets, including amphibole, pyroxene, plagioclase and magnetite, are first analyzed by scanning electron microscope-energy dispersive X-ray spectroscopy for pilot study on the thermobarometric methods.

Based on the preliminary results, the amphibole phase shows a concise ascending path from 24 to 5 km in depth with temperatures decreasing from 1,000 to 840°C. On the other hand, pyroxene pairs display a more diverging and higher P-T range indicating the depth from 40 to 15 km with temperatures decreasing from 1,250 to 1,000°C. Titanomagnetites with thermal exsolution strips reflect a reasonably lower temperature range between 900 and 500°C. Although the acquired P-T data are insufficient in quantity to depict the magma stagnation depth which may imply the reservoir location. They seem to record a clear P-T path of magma ascent through crystallization. In comparison with the 15-8 km-deep magma reservoir of the teleseismic model proposed by Huang et al. (2020), the pilot study result infers a larger and more diverging range of magma crystallization/ponding depth which may favor a deeper source region conceptually in agreement with the mantle wedge diapirs model for magmas generation proposed by Lin et al. (2021). More mineral targets of the four magma units will be analyzed by electron probe micro-analysis to improve the precision of the P-T estimates, which could increase data quantity for better constraints on the TVG magma stagnation depth.

利用自然電位觀測大屯火山群的呼吸

陳宏嘉¹、顏麒書¹、葉秀柏¹、陳建志¹、洪國騰²、陸挽中²、賴雅娟³、
史旻弘³、林正洪³

(1)國立中央大學地球科學系、(2)經濟部中央地質調查所、(3)大屯火山觀測站

摘要

近年來，許多研究指出，大屯火山群可能不是死火山，認為大屯火山地區底下有一個岩漿庫，這是活火山的標誌。大屯火山群靠近大臺北地區（人口近700萬，約占臺灣人口的30%），由於火山活動對人口和關鍵基礎設施的潛在風險，火山的監測與預報長期以來一直是一個主要課題。為了觀測火山底下的熱流系統的變化，本研究分析大屯火山地區的自然電位連續紀錄。地電方法對於成像岩石學、地質不連續性、火山的熱水和管道系統具有強大的能力，因此使用自然電位作火山的長期連續觀測是非常適合的。本研究分別計算了士林站與磺嘴山站的自然電位的功率譜，並與大屯火山的地震活動作比較。主要結果發現2014年到2020年期間的熱流活動可能可以分成三個階段。第一階段是正常時期，此時自然電位的功率密度較強，表示電阻率相對較高，而地震活動的B值接近1，累積規模較大。第二階段則是吸氣時期，此時自然電位的功率密度變弱，表示電阻率降低，暗示地下熱流往淺層移動，而地震活動的B值大於1，甚至有到大於2，累積規模則比第一階段較小，表示小地震相對較多，這也支持熱流湧升造成地震觸發的事實。最後，第三階段是吐氣時期，這時地下熱流停止湧升，反而往深處流動，因此自然電位的功率密度再次變強，表示電阻率變大，而地震活度的B值再次回到1，累積規模則變大，更重要的是，在這個階段發生了塌陷型地震，這佐證了地下熱流不再湧升而是消散的事實。這三個階段也在2020年到2023年的磺嘴山站有觀察到。因此，我們推論大屯火山群底下的熱流系統在作一個以年為單位的長周期呼吸，使得地下孔隙膨脹與緊縮，造成了自然電位功率譜的變化，地震活動的變化，甚至讓地底下產生崩塌型地震。

關鍵字：大屯火山群、自然電位、塌陷型地震

Keywords: Tatun Volcano Group, Self-potential, collapsed earthquake

井測法應用於沉積環境解釋之研究初探-以臺南南科

園區為例

施仲韋¹、吳泓昱²、劉亭攸³、吳柏霖⁴

¹國立成功大學資源工程所碩士班學生、²國立成功大學資源工程系教授、³臺南市考古中心主任、⁴庶古文創事業有限公司研究員

摘要

井測(Well logging)是一種地球物理探勘的方式，透過將探針下放置井孔之中，並在探針的向上提拉的同時，量測並記錄隨著深度變化，不同地層隻各式物理特性。早期的井測常被應用於石油工業中，但自1956年首次將井測法引入作為沉積學的工具後，因井測曲線的形狀與沉積物的粒徑序列具有高相似性，井測學乃被長期應用在沉積相的解釋之中。

本研究與南科考古鑽探計畫合作，於臺南南科園區內之十九口鑽探井中施作井測作業，取得淺層之地球物理特性資料，項目包含：電阻井測、自然伽瑪井測、聲波井測及孔內超聲波造影。透過這些井下電測資料，依照其數據曲線所呈現出的趨勢與形狀，分析與統整在南科園區內常見的電測相，並合併岩心描述中的岩性、岩相及沉積構造等資訊，與井測資料進行交叉比對，嘗試對特定電測相所可能代表的沉積環境進行推測與解釋，探討不同的環境在井測資料上的表現，期許藉由不同井中電測相的表徵，及地層剖面之對比，重建地表下的沉積環境，方能對本區域的環境以及地形的演替有更好的了解。

關鍵字：井測學、電測相、地球物理、岩心判識

應用二維地電阻技術推估農田水文參數

劉家維^{1*}、黃桂奕¹、陳俊榕¹、陳文山¹、李奕亨¹、劉滄琴²、許健輝²、賴俊融²、蔣立為¹、李伯亨¹

(1)財團法人工業技術研究院、(2)行政院農業委員會農業試驗所

摘要

農業灌溉用水普遍被認為是水資源利用的最大支出項目，然而多餘的土壤用水亦可能透過入滲的形式補注至飽和含水層，形成地下水提供其他用途，使得灌溉用水以另一種形式將灌溉用水再利用，此再利用方法，可以進一步利用隱藏於既有統計數據中的水資源，但需要透過有效的科學數據進行證實與推估其量級，影響其補注成效的基礎資料就是土壤水文特性，其中土壤入滲率是重要指標，其決定水分於土壤中的留存行為，然而之所以難以評估其特性原因為傳統上土壤水文特性調查，多針對單一農作田內設置點水分感測器，與取少量樣本於實驗室。此作法對於田間土壤水分之掌控精度仰賴於感測器佈點與取樣之密度，如果密度不足，水分感測器獲得土壤含水資訊為點狀之片段結果，無法反映目標區域之土壤入滲行為。

有鑑於此，為解決感測器佈點密度不足的問題與驗證新穎技術之應用，本研究目標使用地球物理探測中的地電阻層析成像技術(Electrical Resistivity Tomography, ERT)，透過此技術提供大範圍之電阻率分佈，藉由電阻率在特定條件下能反映土壤或岩層之不同程度之水文特性，本研究於三種不同土壤特性之田地進行 ERT 監測，分別是礫石、砂土與黏土特性土壤材料，觀測其於短期降雨入滲過程中其電性變化，並透過適當的資料處理解算地電阻剖面之變化進行分析，結果表明(1) 地電阻法能有效表現含水量變化程度，透過電阻率剖面的變化率可以定義入滲區域以及相對量級，(2) 連續且均勻降雨條件下，電性空間地梯度變化能概估平均入滲量，(3) 不建議此技術應用於黏土材料特性之土壤性質。

無人機空中磁測之發展與應用

董倫道¹、陸挽中²

¹ 財團法人工業技術研究院材化所

² 經濟部中央地質調查所

隨著無人飛行載具技術的突飛猛進，一些地球科學相關的探測技術企圖與此全新的載具結合以發展出更有效率且獨特的探測手段，大地測量是其中一項令人刮目相看的發展。眾多地球物理方法中，也開始有研究者企圖將重力感測器、磁力感測器、多頻道光譜儀、透地雷達、...等感測器掛載在無人飛行載具上，開啟了全新的地球物理領域。

磁力法是一種施測簡便的地球物理方法，在空中地球物理探測領域中，屬於成熟的技術，在地質構造、潛伏火成岩體、地熱資源、礦產資源、考古、環境污染調查、未爆彈調查、...等領域都有不錯的應用成果。工研院團隊自2007年首度引進有人機空中磁測技術後，2009年起亦著手進行無人機空中磁測的相關研究，本文擬簡要地分享本項技術發展的過程與曾經遭遇過的困難，並以近期在水下文資調查為例說明其應用性。

關鍵詞：無人機、空中磁力探測、水下文資調查

台東紅葉地熱潛能區三維地電阻模型與鑽探比對結果

董倫道¹、郭泰融¹、曾振韋¹、張祐銓¹、林朝彥¹、陳棋炫²、蘇宗正²、林昶成²

¹ 財團法人工業技術研究院材化所

² 經濟部中央地質調查所

全世界絕大多數成功的地熱田中有很高比例是屬於火山型的地熱田，這類地熱田的地電阻構造會因為火成岩的熱水換質作用而產生具低地電阻特徵的黏土蓋層，並且成為探勘階段中非常重要的探測標地。然而，台灣地區火山型的地熱田很有限，大多數潛在地熱田多位於變質岩區，屬於非火山型的地熱田，此類地熱田在探勘階段應以何種特徵作為有效的探測標地呢？

台東紅葉地熱潛能區位處中央山脈東翼變質岩區，是頗負盛名的溫泉區，民國七十年代中油公司曾經探測獲得高溫139°C之地熱徵兆，近年亦因此吸引企業投資觀光與地熱事業。工研院SFND團隊受地調所委託進行該區之地熱地質探測，透過大地電磁探測建構的三維地電阻模型，發現了數處具備地熱構造幾何特徵的異常區，並選擇其中資料相對多的台東紅葉谷鄰近區域，依據三維地電阻模型解釋的熱水外滲區，設計鑽井位置並完成了一口800公尺深的地質鑽探井。初步成果顯示井下最高溫達142°C，井下溫度分布亦符合熱水外滲區的特徵，井下最高溫度分布深度為明顯的熱水注入區，對應密集的破裂帶，也都與三維地電阻模型的低電阻區吻合。

關鍵詞：台東紅葉、地熱構造、大地電磁、三維地電阻模型

台灣中部海岸理想 CCS 場址震測調查

王乾盈、吳明賢、郭俊翔、林殿順、郭炫佑、胡玉燕

中央大學地球科學系

摘要

CCS(二氧化碳捕獲與封存)已成為全球暖化「淨零碳排」之一重要項目。為降低碳封存成本及環評爭議，在電廠附近直接「就地封存」最具可行性。本研究處理前期在國科會能源國家型計畫(NEPII)下完成的 30 條高解析反射震測測線，每條長 1~3km，從台西分布到台中港(約 60 公里)，並結合已知井資料，嘗試找出中部西海岸最適合碳封存的區段。

台灣西部平原適合碳封存的地層分為四段:R1:卓蘭層，R2: 錦水頁岩~桂竹林層~南莊層~觀音山砂岩，R3:打鹿頁岩~北寮層~石底層，R4:碧靈頁岩~木山層~五指山層，每段都有頁岩蓋層及高孔隙的砂岩儲集層。碳封存最佳的深度範圍在 800~3000m，一則二氧化碳成液態超臨界，有助流動移棲，二則灌注加壓不至於太高，節省成本並防誘發地震。因此，尋找適合的封存地層，必須同時考慮: 地層岩性及深度。

本研究之高解析震測採用 Mini-Vib 震盪震源 1 或 2 台，240 或 360 波道，4m 測站間距，30 或 45 重合。高解析震測比探油震測有高兩倍以上的解析度，單一剖面雖不長(1~3km)，但震測影像細緻，在砂岩位置會出現密集反射相，可用於辨識地層。一般震測剖面垂直軸都為時間，本研究則為「深度剖面」，垂直軸為深度，並以 H:V=1:1 比例展示。「時間轉換為深度」係依據 Dix equation，將疊加速度分解成層間速度，再以之將時間轉換為深度。正確的深度轉換關鍵是疊加速度，利用二項技術可以提高疊加速度的準確度: 1) 全剖面速度掃描，將剖面先上下，再左右，做細部網格(200mx100ms)速度掃描，找出最佳疊加影像及其對應的疊加速度。2) 以附近井資料之深度作為控制，微調指準層深度所需的速度。

本研究仔細校正從台西到台中港 60 公里的 30 條高解析震測剖面，發現如下:

- 1) 地層從北港高區最高的台西，沿海岸以 1.5~2.5 度傾角，往北加深到台西盆地中心附近的台中港，可封存的地層深度範圍在台西為 800~1500m，到台中港增為 2200~4000m，厚度增加 2 倍多，但深度也增加 2 倍多。
- 2) R1 儲集段(卓蘭層)在大城(濁水溪北岸)以南缺失，此深度的崁下寮層併入 R2。
- 3) R2(桂竹林層)在芳苑以北出現，崁下寮層在芳苑以北漸變為錦水頁岩及桂竹林層，再往北到台中港，R2 迅速增厚 (王功:160m，中港:360m) 及加深，但未見南莊層。
- 4) R3(北寮層及石底層)含有高孔隙的砂岩，整組厚度:台西 350m，王功 500m 到台中港 600m，頂部深度則 800m，2100m，加深至 2800m。
- 5) R4 儲集段(木山層)在大城以南零亂出現，一般認為木山層沉積時，此區為北港高區頂部(雲彰古陸)，因辨狀河系交錯分布，造成散亂的凹凸不平的表面，凹陷處才有可能沉積木山層。需很細的高解析震測剖面加以辨認。
- 6) 中部海岸最佳的 CCS 區段在「麥寮至王功」之間，該區段以南因位在 B 斷層以南，有密集骨牌構造性斷層。區段以北則部分 R3 及 R4 地層深度會超過 3000 公尺。

關鍵詞: CCS 二氧化碳封存、台灣西海岸 CCS、高解析反射震測

On detecting geomagnetic signals of the tide and Kuroshio current variations

Ting-Juan Liao¹、 Benjamin F. Chao²

(1)Department of Physics, National Taiwan University、 (2)Institute of Earth Sciences, Academia Sinica, Taiwan

Oceans generate secondary magnetic fields as the tide or current flows through the earth's magnetic field. Cutting through the earth's magnetic field, charged particles are separated according to Faraday's law. By Ohm's law, moving charges produces current. Furthermore, these currents generate a secondary magnetic field. In this study, we aim to study this phenomenon with the vector magnetometers at stations of 恆春、蘭嶼、知本, along the southeastern coast of Taiwan. We found the cross-correlation function between the three stations has repeated spectral peaks of thirteen days, which suggest the influence by the long-period lunar Mf tide due to the associated tidal currents in the vicinity of the stations. As for the ocean circulation current Kuroshio, with that provided by the JCOPE-2 numerical model, we simulated the secondary magnetic field as described above. The magnitude of it is on the order of 1~10 nT, which is large enough to be detected by our instruments with measurement sensitivity of 0.01nT. We also find a significant correlation of the simulated magnetic field with the observed at 蘭嶼 station. Our future goal is to be able to monitor the total current mass flux variations using coastal vector magnetometer records.

Keywords: tide, Kuroshio Current, secondary magnetic field

以氫氧同位素判定礁溪溫泉水之補注區域

李俊逸¹、彭宗仁¹、詹婉君¹、林毓雯²、劉滄琴²、朱天民³、董奇轟⁴、
江協堂⁵

(1)國立中興大學土壤環境科學系、(2)農業試驗所農業化學組、(3)傑美工程顧問公
司、(4)程信環境工程顧問公司、(5)研經工程顧問公司

摘 要

了解溫泉的補注區域對於保護這些泉水的水質至關重要。然而，在山區缺乏足夠的地下水井數據使得確定溫泉的補注區域成為一個挑戰。本研究分析位於台灣東北部礁溪地區的雨水、溪水、山區地下水和溫泉水中的氫氧同位素 ($\delta^2\text{H}$ 和 $\delta^{18}\text{O}$) 和主要離子。同位素-海拔高度關係和GIS補注分析的結果表明，溫泉水來源於遠離礁溪海拔約1,200至1,400 m的山區，而非上游流域。溫泉水根據碳酸鹽飽和度 (SI) 和同位素組成被分為兩組：山麓組，其具有正值的SI和較低的 δ 值，以及下游組，其具有負值SI和較高的 δ 值。本研究通過證明熱泉水的補注是跨集水區的區域流動的，以及山麓溫泉水不與雨水混合，改進了熱水路徑的概念模型。修改後的模型強調線狀構造的方向在破碎山塊的區域水文傳輸的角色。

The Influences of Hydrogeological Models on Pore Water Pressure Buildup Triggered by Seismic Wave Propagation

Agustina Shinta Marginingsih¹, Shih-Jung Wang^{1,2}

¹ Graduate Institute of Applied Geology, National Central University, Taiwan

² Department of Earth Sciences, National Central University, Taiwan

Abstract

The studies on pore water pressure buildup in an aquifer triggered by seismic wave propagation commonly consider a homogeneous or a perfect layer system. However, the distribution of hydrogeological material and the integrative geological model may play an important role in seismic wave propagation and affect the distribution of pore water pressure buildup. Since the non-uniform ground settlement induced the building to collapse, the influence of soil profile structure on non-uniform ground settlement need further investigation. To assess the structure effect of hydrogeological model on pore water pressure buildup due to seismic wave propagation, various hydrogeological models was constructed using simplified synthetic (including perfect layer, pinch-out, and lens system) and complex synthetic (including shallow, and deep soil profile) models. An UBC-sand model-based software, namely Midas GTS NX, was adopted to simulate seismic waves in a saturated porous medium. The results show that geological model significantly affects the transient behavior of acceleration, pore water pressure, and vertical displacement. The presence of layered soil altered the wave propagation which is amplified and attenuated based on geological model structure. The presence of angles in the pinch-out, lens, and complex synthetic models leads to an accumulation of pore water pressure in the corner area, which has a high potential to reach the liquefaction limit. Non-uniform ground settlement occurs in pinch-out system and lens system. The distribution of pore water pressure buildup obtained from the simulation can provide an important reference for the potential assessment of soil liquefaction.

Keywords: Structure of hydrogeological model, Seismic wave propagation, Excess pore water pressure, Vertical displacement, Soil liquefaction.

建置應用量子電腦進行污染溯源之技術

倪春發¹、李唯祺²

(1)國立中央大學 應用地質研究所、(2)工業技術研究院 綠能與環境研究所

摘要

地下水污染源特徵(例如總量、位置和排放時間等)識別的精準程度，攸關整治策略的制定、責任歸屬與整治成本的高低。目前雖已發展有許多污染源特徵的推估與追蹤方法，但大多數僅能用於簡化模型，並在分析效率與準確性上仍有許多改進空間。相較於目前多數研究仍嘗試結合數學演算法增強推估的效能，本計劃主要目的為新技術的導入，將應用目前最新的量子計算進行污染溯源，同時評估此新技術的效能。為了達成此新技術驗證目標，本計畫將利用既有地下水數值模式產生假想例，產出數種不同的污染情境(如不同污染源數量、污染源分布、降雨或地質條件等變化)的案例。假想例中的點位觀測資料，將分別利用量子運算與傳統反推估法對模擬區域中的污染源特徵進行反推估。最後本工作將所有反推估結果進行量化與比較，並評估應用量子運算的污染溯源技術在不同情境下的效能。由於本計畫為將量子運算技術引入至土壤地下水領域的嘗試，希望未來能有許多量子運算的嶄新應用(如高異質性含水層模擬、高效整治藥劑開發、整治決策最佳化或由觀測濃度值進行污染預測等)能因本計畫的成果而有更多進展。

水文地質模型對耦合地層下陷模擬之影響探討

The Influence of Hydrogeological Models on Coupling Land

Subsidence Simulation

王士榮^{1,2}、楊詠涵^{1,3}

Shih-Jung Wang, Yung-Han Yang

¹ 國立中央大學 應用地質研究所

² 國立中央大學 地球科學學系

³ 工業技術研究院 綠能與環境研究所

摘要

抽水引致地層下陷之機制為水壓降低引致土體壓密，水壓之降低為驅動因素，地質特性則為引起壓密之本質因素。因此，要瞭解地層下陷之機制與壓密情形，地質特性扮演關鍵角色。傳統地下水流模式採用簡化之層狀含水層系統，在水資源評估之大尺度應用中影響不顯著；然而，地層下陷導因於小尺度地質特性，因此，過於簡化之含水層系統無法完善模擬實際地層下陷情形。適當的水文地質模型，為地層下陷模擬與評估之重要基礎。考慮到地質材料分布在地層下陷模擬的重要性，本研究擬探討不同複雜度水文地質架構對地層下陷模擬的影響。本研究以雲林地層下陷區之水文地質剖面，以有限元素軟體 COMSOL MULTIPHYSICS 中建置兩個不同複雜度的現地模型進行模擬與分析。本研究以 Biot 耦合孔彈性理論為基礎，模擬土體排水引致壓密的過程，使用相對敏感度(relative sensitivity)進行參數敏感性分析。之後在現地模型中考量變形效應引起之相依參數，探討土體特性在排水與壓密的過程中之變化情形。參數敏感性分析結果顯示，楊式模數、柏松比與滲透性對沉陷量較為敏感，而孔隙率則不敏感。其中，滲透性之敏感度隨時間變化，並在水頭下降期間對沉陷量的影響較為顯著。整體而言，阻水層參數與含水層參數相比更為敏感。在現地模型中，累積沉陷量主要來自阻水層的壓應變，而阻水層的厚度影響其排水速度。在較符合現地的地質模型中，地層下陷情形更為局部，並有較大的最大沉陷量。在相依參數模式中，孔隙率與滲透性隨土體變形而減小，楊氏模數則隨土體變形而增加。土體排水速率與壓縮量隨時間變化，使得最終累積沉陷量與到達最終沉陷量時間的減少。

關鍵詞：土水耦合模式，地質模型複雜度，地層下陷模擬，參數敏感性分析，相依參數。

利用二維電性進行斗六丘陵地下水補注特性研析

陳俊榕^{1,*}、林燕初²、賴慈華²、黃桂奕¹、陳新翰¹、劉家維¹、楊詠涵¹、蔣立為¹、李奕亨¹、邵屏華²

(1)財團法人工業技術研究院綠能與環境研究所、(2)中央地質調查所

摘 要

本研究為配合中央地質調查所計畫，於臺灣中部地下水區及周邊重要補注區進行詳細調查。主要工作為釐清平原區與周圍臺地/丘陵之水文地質特性與邊界特性，以及瞭解地下水流場分布及開發潛能。本研究著重於水文地質邊界與過渡帶特性方面調查，以釐清此邊界構造之特性及深層地下水資源。今年主要調查區以濁水河流域南岸沖積平原與斗六丘陵為主。

本研究主要進行地球物理探測，依據研究區域斗六丘陵規劃並完成(1) 完成 35 處聲頻大地電磁(AMT)測點量測及東西剖面分析、(2) 完成 108 處多頻道電磁(EM)測點量測、(3) 完成地電阻影像剖 1,505m 測線探勘。聲頻大地電磁探測成果，透過二維逆推計算，共完成 2 條橫跨斗六丘陵東西兩側與 1 條縱貫斗六丘陵西側的長剖面分析。在多頻道電磁探測方面，考量資料品質後保留 101 個測點之量測。初步對於高低電阻交界處進行推算並繪製出於空間中之分布情形。地電阻影像剖面探測則完成湖山測線 505m 及荷包測線 1,000m 探勘。

本研究根據地球物理探測結果推測，提出斗六丘陵深層地下水文概念模式。依地層電性構造分布，淺部地層為乾燥之頭嵛山火炎山礫石地層，電阻約為 800 歐姆米(ohm-m)，深部 500m 以下地層電阻值驟降至 300 歐姆米(ohm-m)

關鍵詞：地球物理探測、電性剖面、水文地質邊界

Classification and Regression Tree (CART)-based estimation of SWC based on meteorological inputs and hydrodynamics behind

Tsung-Hsi, Wu¹、Pei-Yuan, Chen²、Chien-Chih, Chen¹、Meng-Ju, Chung²、Zheng-Kai, Ye、Ming-Hsu, Li²

(1) Department of Earth Sciences, National Central University、(2) Graduate Institute of Hydrological & Oceanic Sciences, National Central University, Taiwan

Abstract

In this study, we investigate the feasibility of using the Classification and Regression Tree (CART) algorithm for estimating soil water content (SWC) using commonly available meteorological parameters. We trained and validated CART models using data collected in a grassland terrain in northern Taiwan throughout 2018, with the goal of providing precise information for agricultural irrigation and flood risk assessment. Our findings indicate the effectiveness of CART in SWC estimation, with error levels acceptable for agricultural purposes. Additionally, the study highlights the importance of understanding the characteristics of rainfall and the underlying hydrological dynamics, such as evapotranspiration and soil texture, in order to make accurate SWC predictions using CART.

新竹地區斷層傾角分布與統計

陳冠宇

國家地震工程研究中心

摘要

斷層傾角是機率式地震危害評估(PSHA)中用來描述斷層幾何形貌的關鍵參數之一，不同的調查方法在斷層沿線上常顯示不同的斷層傾角。當評估團隊依靠自身觀點來判斷傾角參數與權重時，便會產生主觀偏差。

本研究的主要目的在藉由統計方法得出傾角的分布區間，用以建立斷層傾角模型。蒐集特定斷層的地球物理及地質調查的結果進行統計，若資料的偏度界於-0.5及0.5之間，則資料分佈可視為常態分佈曲線。在常態分佈曲線中可選取特定標準差來決定信心區間，根據前人研究通常採用兩種方法，ESM法:80%信心區間(1.282個標準差)，對應曲線之第10、第50及第90百分位數值的機率權重為0.3/0.4/0.3E;PT法: 90%信心區間(1.65個標準差)，對應曲線之第5、第50及第95百分位數值的機率權重為0.185/0.630/0.185(通常簡化為0.2/0.6/0.2)。由此得出對應的傾角上下界與中值及其對應的權重，以排除主觀評估造成的偏差。

本研究針對新竹地區的湖口斷層、新竹斷層及新城斷層，採用上述方法進行評估，三個斷層的偏度分別為-0.11、-0.42與-0.46，採ESM法，則湖口斷層傾角 46/58/70; 新竹斷層傾角37/57/77; 新城斷層傾角36/51/66，對應權重為0.3/0.4/0.3。採EPT法，湖口斷層傾角43/58/73; 新竹斷層傾角32/57/82; 新城斷層傾角32/51/70，對應權重為0.2/0.6/0.2。

此初步研究提供了一種相對較為客觀的方法來決定斷層傾角參數範圍及相對應的權重設定。此方法僅適用於具有簡單幾何構造(單一傾角)、調查點與數據量足夠的斷層，對於複雜幾何(多傾角)或數據不足的構造，使用此方法會產生較大的不確定性。

關鍵字:斷層傾角、PSHA、常態分佈、湖口斷層、新竹斷層、新城斷層、權重

藉由彈性半空間錯位模型估算車瓜林斷層滑移虧損率 及地震潛勢評估

李易叡¹、胡植慶²

(1)財團法人中興工程顧問社、(2)國立台灣大學

摘要

本研究採用Franklin and Huang (2022)結合InSAR-GNSS解算內差得到之2016-2021年東西向、南北向、高程分量的速度場，於車瓜林斷層上盤共選取931個點位。因模型需反演車瓜林斷層的活動性，需將下盤視為固定的參考點，將車瓜林斷層上盤點位的速度場減去下盤東西向及南北向平均速度場，即可得到車瓜林斷層相對於下盤的速度場。速度場顯示車瓜林斷層於南段滑移速率較高，方向呈東南向與車瓜林斷層走向近乎平行，到了斷層中段轉為東西向且滑移速率漸減，到了北段轉為東北向。

車瓜林斷層幾何參數則是參考成功大學(2021)地質調查所計畫，GNSS速度剖面與二維斷層模型擬合成果，北段傾角為南傾61.4度，南段傾角為南傾46.9度。藉由Thomas (1993)以角度錯動為理論基礎建構之錯位模型模擬程式(Poly3D)，以三角多邊形為基本元素去建構彈性半空間中的位移不連續邊界，將地表觀測到的位移逆推至地下的斷層面上。

反演結果顯示車瓜林斷層面向量分布，南段是東南向，北段是北向略為偏西，符合地表觀測的結果。本研究計算斷層面上滑移虧損率，是將東西向及南北向分量分開評估，滑移虧損率是用斷層網格中的滑移速率高值減去每個網格上的值，如網格上的滑移速率值大於高值，則滑移虧損率設為0。

本研究計算斷層面地震矩虧損率如下式：

$$M_{0_{deficit}} = \mu \sum_i A_i \cdot V_{deficit_i}$$

其中 μ 是斷層剛性係數，使用 $3 \times 10^{11} \text{ dyne/cm}^2$ ， A_i 是第 i 個網格的面積， $V_{deficit_i}$ 是第 i 個網格的滑移虧損率。計算並加總得到車瓜林斷層模型的地震矩虧損率為 $2.57\text{E}+17 \text{ Nm}$ ，發生規模 $M_w=6.6$ 的週期為36年。

米崙深鑽計畫斷層帶粉碎石英的初步分析結果

吳文傑、蔣慶有、謝宛綦、郭力維、馬國鳳

摘要

米崙斷層深鑽計畫取出 200 公尺岩心，其中包含斷層帶材料，深度為鑽井的 491 公尺深。此斷層帶只少 30 公尺寬，其中包含主要滑動帶、粉碎石英、角礫岩、碎裂岩石等。本研究取出斷層帶材料中的粉碎石英，與斷層帶之外的石英作比對分析，方法包含 X 光繞射、光學與電子顯微鏡觀察、同步單光與白光繞射。預期成果包含微觀構造分析、X 光繞射分析與勞氏繞射分析，綜合上述成果，將提供斷層帶材料帶來的地震相關資訊。

花東縱谷北段海岸山脈西側線形構造的活動性探討

李易諭¹、王昱¹

(1)國立臺灣大學地質科學系

摘要

2018花蓮地震的同震位移顯示，縱谷北段海岸山脈西側的斷層走滑有顯著的左移特性，若將具同震破裂的嶺頂斷層沿其破裂段的斷層走向往南延伸，恰好會對應到在海岸山脈西側上的一系列錯斷河與閉塞丘等指示左移運動的構造地形，並可以再向南連接至前人利用航照與40米數值地形（DEM）所判釋的月眉線形。這些構造地形極可能指示一條活躍的左移斷層，吸收了縱谷北段大量的走滑運動。然而，受限於資料的解析度與植被覆蓋的問題，近期的研究認為這些在海岸山脈西側斷續出現的線形構造僅是縱谷北段的次要斷層或岩性邊界，且自更新世以來就沒有活動。

本研究使用中央地調所山崩雲所提供的高解析度光達數值高程影像，輔以20米數值地形、航照立體對與1：5000像片基本圖，再次對嶺頂斷層上盤的海岸山脈西側進行構造地形的判釋；透過GIS軟體與回復原始地形等方式，得到河道與其周圍地形所累積的最大水平錯移量；同時配合野外調查，檢視斷層與沖積扇扇階的繪製成果，並確認是否有全新世的活動證據。斷層跡的分布顯示，前人所提出的四條線形構造（由北而南分別為：月眉、米棧、大坪、山興線形）可視為是一條連續的左移斷層上的不同分段；而此斷層的平均最大水平錯移量約為310公尺，且總錯移量似有往南遞減的趨勢。另外，在野外調查時並未發現高位沖積扇扇階有紅土的化育，故假設這些河道於末次冰盛期（LGM）形成，可推估總錯移量約從1.45至2.5萬年前開始累積，進而求得長期走滑速率為12.4~21.4 mm/yr。考量到其相當於縱谷斷層的高活動速率，與錯移全新世沖積層，本研究認為這條左移斷層相當活躍，且主導了縱谷北段的左移運動。

透過 0917 關山地震的同震地表破裂觀察二層坪的地下構造

徐乙君^{1,*}、張中白^{1,2}、顏一勤³、黃韶怡⁴ 顏君毅⁵

¹國立中央大學太空及遙測研究中心 ²國立中央大學地球科學系 ³顏一勤應用地質技師事務所 ⁴台灣大學新碳勘科技研究中心 ⁵國立東華大學自然資源與環境學系

Abstract

台灣的花東縱谷位於菲律賓海板塊和歐亞板塊的碰撞帶上，在 2022 年 9 月 17 日和 18 日分別在關山和池上發生規模 6.6 (M_L)及 6.8 (M_L)的淺層地震，造成縱谷內產生明顯的地表變形，變形範圍從花蓮縣玉里鎮至台東縣鹿野鄉，南北長約 70 公里。二層坪位於台東鹿野，是受到斷層活動所形成的構造階地，在階地西側有分別有池上斷層和利吉斷層通過。在 0917 關山地震中，多處發生地表破裂，透過地表破裂調查，二層坪的破裂帶主要分布在第一層的階地附近，亦有部分破裂在未抬升的地區及第二層的階崖上，破裂型態以壓縮的破裂脊為主，偶有橫移剪切造成的破裂。本研究透過地表同震破裂調查結果，配合高解析度的地形資料，顯示二層坪的變形行為複雜，除了東西方向的擠壓外，尚有南北方向的壓縮破壞，此現象用二層坪原始的構造模型較難解釋。根據前人的調查資料可以得知二層坪下方主要為利吉層，階地除了西側的逆斷層外，亦存在向東傾斜的斷層線形，推測二層坪的構造可能是橫移壓縮作用下形成的壓力脊(花狀構造)，但因泥岩在受到應力作用時，會呈現半塑性的變形行為，造成該區域橫移剪切的分量不明顯，反以東西方向的壓力脊呈現。在利吉層橫移壓縮的作用下，二層坪壓力脊的構造特徵，亦造成東側的卑南溪繞過斷層前緣，在其東側流動。

關鍵字： 0917 關山地震、同震地表破裂、二層坪地區、利吉混同層、壓力脊

Key Words： 0917Guanshan Earthquake, Co-seismic Surface rupture, Ercengping area, Lichi Mélange, Pressure ridge

Characteristics of Thrust activity in Numerical Critical

Wedge Models

Fang-Yi Lee¹, Emmy T.-Y. Chang¹ and Eh Tan²

¹Institute of Oceanography, NTU 、 ²Institute of Earth Sciences, AS

Abstract

Convergent wedges are areas where two tectonic plates collide, resulting in active deformation and frequent earthquakes. Understanding the deformation and seismic behavior in convergent wedges is crucial for mitigating the harm caused by seismic hazards. Previous studies have revealed the complex interplay between the stress field and fault activity, wherein accumulating stress can trigger fault activation, while the strain during fault activities can influence stress field. The aim of this study is to provide a quantitative analysis of this relationship.

To achieve this, we employ numerical models to simulate the deformation of convergent wedges. Several thrusts and backthrusts develop in the model. We extract the simulated strain rate and stress of thrusts over time and observe important characteristics. The stresses at the frontal wedge increase over time, while the stresses at the rear wedge decrease. The frontal thrusts would be active for >500 years then silent for a few hundred years, while rear thrusts would be active for only a brief period then silent for extended time. The time series of strain rate across thrusts are cross-correlated. We find no correlation between the activities of frontal thrusts and rear thrusts.

The activation of a convergent wedge can be divided into two regions, the frontal region and the rear region. Each region has its own seismic cycle. The cross-correlation analysis also found that all conjugate pairs of faults show a high correlation and that forethrusts activate slightly earlier (0~30 years) than their conjugated pairs.

Keywords: numerical simulation, convergent wedge, fold-and-thrust belt, and seismic cycle

西傾碰撞邊界斷層在台灣 2022 年池上地震序列中所扮演的腳色

李憲忠 劉庭佑 林姿綺
中央研究院地球科學研究所

摘要

2022 年 9 月 17 日至 18 日，台灣東南部花東縱谷南段發生了地震矩規模 M6.6 前震和 M7.0 主震以及一系列餘震，統稱為 2022 年池上地震序列。此地震序列造成縱谷區多處地表破裂和建築物倒塌損毀，並有一人死亡。前震和主震的震源機制均具有一個西傾的斷層面，其與已知的歐亞大陸板塊和菲律賓海板塊碰撞擠壓造成的東傾活動斷層不同。為了解此地震序列的破裂機制與成因，本研究結合近場強地動資料、同震位移資料以及遠場寬頻地震波資料進行聯合震源反演。逆推結果指出，此地震序列的破裂主要發生於西傾的斷層面上。主震的破裂始於震源附近，並以大約 2.5 公里/秒的破裂速度朝北傳播。同一時間，東傾的縱谷斷層亦產生滑動，其可能是被西傾斷層面上的破裂所觸發。本研究結合此地震序列的震源破裂模型以及過去十年台灣東部所發生大地震的破裂過程，研究結果有力地支持了中央山脈斷層的存在，其為一條位於花東縱谷縫合帶西側，由縱谷北端一路延伸到南端的西傾碰撞邊界斷層。

關鍵字: 2022 年池上地震序列, 震源破裂過程, 花東縱谷縫合帶, 中央山脈斷層

The Rupture Process of the 2022 Guanshan Earthquake and Chishang Earthquake in Longitudinal Valley, Eastern Taiwan from Joint Inversion of Seismological and Geodetic Data.

Wei-Yu Zhang¹, Po-Fei Chen¹, Ming-Che Hsieh²

¹Department of Earth Sciences, National Central University, Taoyuan, Taiwan.

²Earthquake-Disaster & Risk Evaluation and Management Center (E-DREaM), National Central University, Taoyuan, Taiwan.

On 17th and 18th September 2019, two strong earthquakes with moment magnitudes M_w 6.5 (Guanshan earthquake) and M_w 7.0 (Chishang earthquake) struck Longitudinal Valley (LV), where the arc-continent collision between the Eurasian plate (EP) and the Philippine Sea plate (PSP) sutures. The distributions of aftershock as released by the Central Weather Bureau (CWB) suggest ruptures of both events occur on the west-dipping Central Range Fault, which also hosts the rupture of the 2006 Taitung earthquake to the south and the 2013 Ruisui earthquake to the north segment. In this study, we aim at determining the finite fault models of both events, as jointly inverted by teleseismic waveforms (P, SH, Rayleigh, Love), strong-motion records, static and high-rate GNSS. The inversion scheme calculates misfits of waveforms in the wavelet domain and, using nonlinear simulated annealing algorithm, solves the optimal solutions for slip amplitude, rake angle, initial rupture time, and rise time on each subfault (Wavelet and simulated Annealing Slip [WASP], Koch et al., 2019; Goldberg et al., 2022). To examine the spatial resolution and reliability of the fault model, we also conduct the checkerboard test and forward simulations. For Guanshan earthquake, our results display that the rupture mainly propagates from north to south with total duration of ~ 12 sec. The two asperities can be resolved on fault plane with a maximum slip of ~ 1.9 m. For the Chishang earthquake, the rupture propagates northward with a total duration of ~ 23 sec. The two shallow (0-10 km) asperities can be distinguished with the maximum slip of ~ 5 m near the Yuli township, corresponding well with sites of severe building damages.

Keywords: Longitudinal Valley, Central Range fault, Guanshan earthquake, Chishang earthquake, finite fault inversion.

使用斷層帶首波分析台灣東部縱谷斷層系統 之發震構造特性

林姿綺^{1,3}、Gregor Hillers²、李憲忠¹、洪淑蕙³

(1)中央研究院地球科學研究所、(2)芬蘭赫爾辛基大學地球科學與地理系暨地震研究所、(3)國立台灣大學地質學系暨研究所

摘要

過去三十年的研究顯示，透過檢測與分析斷層帶首波（Fault Zone Head Waves, FZHWs）可提供斷層結構在地震發震深度和斷層走向方向上的關鍵資訊。本研究使用FZHWs來檢視位於歐亞板塊和菲律賓海板塊縫合帶上的臺灣東部縱谷斷層系統北段，該構造為災害性地震的頻發地區，因此了解此活躍構造的斷層特徵及地球物理特性有其必要性。我們對2012年至2018年間由44個測站記錄的8900個中小型地震紀錄進行分析，透過Ross & Ben-Zion建立的自動檢測系統，挑選出由150個地震事件生成的279個首波（Head Waves）。從三維透視圖中顯示首波的發生皆位於深度約為20公里、向西傾斜的中央山脈斷層面上。這些首波檢測結果表明在該斷層段兩側上存在顯著的速度差異。此外，我們應用粒子運動（Particle motions）、偏振（Polarization）和隔距時差（Moveout）分析，來確認自動檢測獲得的FZHWs相位擷取的準確與穩定性。分析結果指出，P波和FZHWs之間的到達時間差模式的主要特徵是恆定的，這表明在斷層上存在一個較淺的雙材料界面，進而影響測站附近或測站下方的波場。而其次要特徵為經典的時差模式，為了釐清主、次要特性，我們使用兩種模型並結合赤池信息量準則（Akaike Information Criterion）分別對恆定和經典到時差模式進行擬合，以探討局部的速度差異變化與趨勢。擬合結果指出研究區域中，時差除主要的恆定特徵外，於多個測站亦呈現經典的時差模式，此表明同一空間中，除淺部的雙材料界面，深部亦存在雙材料界面，此結果與前人的速度構造研究結果相似。綜合這些分析結果，本研究推斷此區域中的西傾斷層面兩側的平均速度差異範圍約1%到3%。

應用自動化地震波相辨識技術建立氣象局地震目錄

陳達毅^{1,2}、張毓軒^{1,3}、宋冠毅¹、何美儀¹

(1)中央氣象局地震測報中心、(2)臺北市立大學地球環境暨生物資源學系、(3)國立臺灣大學地質科學系

摘要

自動化地震波相辨識可以應用於地震目錄的建立。地震目錄是記錄地震發生的時間、位置、規模等基本資訊的資料庫，是地震地體構造和地震風險評估的研究基礎。自動化地震波相辨識可以節省龐大的人力與時間，也可以避免人為操作因素引進誤差，對於大地震之後快速地提供餘震分布並進而研判地震成因及後續地震潛勢有著重要的作用。氣象局從2012年開始整合不同型態的地震觀測儀器，並且將觀測紀錄解析度由12位元提升至24位元。近年來在持續建置海底地震站、井下地震站，並將原本離線觀測的地表自由場強震站改為即時傳輸後，總計即時傳輸的地震資料頻道數為2883個。如此龐大的觀測資料，以及臺灣的高地震活動度特性，使得氣象局傳統的地震資料處理作業已經不堪負荷，無法在短時間內完成完整的地震目錄，對於地震活動潛勢評估帶來許多困擾。所幸機器學習技術用於地震波相的辨識已經逐漸成熟，許多成功的案例說明電腦可以協助人類在較短的時間內自動地完成地震波相辨識，並且結合地震定位程式，產生最終的地震目錄。本研究將選用seisbench人工智慧技術進行挑波並結合至氣象局目前使用的地震定位程式，所產生的地震目錄再透過Seiscomp軟體所提供的人機介面進行確認，最終產生地震目錄。研究目標為制訂出一套能夠縮短作業時間且提供相對完整資訊的地震目錄製作流程。Seiscomp為德國地球科學中心(GFZ)所開發的免費軟體，是目前地震資料處理的主流軟體之一。其內建自動挑波程式尚未導入人工智慧模型，因此在實際作業時仍需要針對個別測站調整觸發參數，且其結果也存在一定的誤差。從文獻中得知seisbench人工智慧技術能夠表現得比傳統方法好且不需要針對個別測站調整參數，使用上較為便利。Seiscomp軟體提供轉換程式讓外部程式所產生的地震參數能夠匯入Seiscomp軟體的資料庫中，因此本研究得以整合seisbench的人工智慧技術及Seiscomp軟體。此外，由於Seiscomp軟體能將各種地震參數收錄於資料庫中並藉由網頁服務方式提供標準化格式的地震資料，使得氣象局未來在提供地震資料時能讓使用者更方便取得，也更容易使用。

Annual report of the real-time moment tensor monitoring system

Ting-Yu Liu、Shiann-Jong Lee

Institute of Earth Sciences, Academia Sinica, Taiwan

Abstract

Real-time Moment Tensor (RMT) is an earthquake monitoring system designed for automatically detecting seismic activity in Taiwan. The system can provide the original time, hypocentral location, moment magnitude, and focal mechanism of seismic events within two minutes of the occurrence. The monitoring region covers from 119.2 °E to 123.0 °E, and from 21.0 °N to 26.0 °N, with depths ranging from 2 km to 180 km. The grid space is less than 0.05 degrees in the horizontal direction and about 2 kilometers in the vertical direction, which varies with depth. The system combines centroid moment tensor (CMT) inversion techniques, grid search methods, 3D Green's functions calculated using the spectral-element method, and real-time broadband seismic recordings. An early RMT system operated from 2012 to 2015 used a 1D Green's function, and the system has been upgraded to a 3D Green's function version since 2015. This report compares the results of the seismic events detected between 2015 and 2022 by the RMT with those of the earthquake catalog of the Central Weather Bureau (CWB) and the centroid moment tensor (CMT) solutions of the Broadband Array in Taiwan for Seismology (BATS). The average differences in the event time and epicenter location are less than 1.6 seconds and 7.5 kilometers, respectively. Most of the source parameters are close to the BATS CMT solutions. The long-term goal of the RMT system is to provide real-time source information for moderate to large earthquakes for rapid earthquake hazard assessment.

Key words: Real-time monitoring, moment tensor inversion, source parameters, 3-D Green's function, Computational seismology

**High Accuracy and Efficiency on Viscoelastic Simulation –Asymmetrical
Factorization and Fractional Spatial Derivatives K-space Domain Computations**

How-Wei Chen¹, Hong-Yu Zhou²

¹ Inst. of Geophysics, Dept. of Earth Sciences, National Central University, Taiwan, R.O.C.; ² Geophysical Prospecting Lab, China University of Petroleum (Beijing), China

Designing accurate and efficient wave propagation engines is vital for seismic modelling and imaging. The PSM provides spatial dispersion-free wavefields. However, small time steps must be adopted to ensure the simulation stability and temporal accuracy. To deal with the issue, many enhanced spectral-like methods were proposed for wave propagation. The k-space method is one of those enhanced strategies. The k-space method stems from the scattering research and then is introduced to solve many practical problems in ultrasonic, biomedical and geophysical applications. Compared with second-order k-space formulation, the first-order k-space formulation can be readily solved by the staggered-grid configurations and possesses better numerical stability and less simulation artefacts. The existing first-order k-space method is highly efficient and accurate for the wave propagation simulation in homogeneous media. However, when it comes to highly heterogeneous media in geophysical problem, each first-order derivative in the k-space formulation involved a computationally intensive space-wavenumber mixed-domain operator. Removing the discretization errors in temporal derivative can be achieved through eigenvalue decomposition and solution to the matrix differential equations. We analyze and summarize the computationally intensive problem of the conventional first-order k-space method as symmetrical factorization of wavenumber-time (k-t) domain wave propagator. The error compensation operators can simultaneously correct the discretization errors of different types of temporal derivatives and it is the wave mode adaptive approach. The mixed-domain operators are effectively represented by the low-rank variable operator length computations. The theoretical and numerical analyses validate the key issues: Compared with conventional k-space method, newly proposed method preserves the modelling accuracy for strongly varying heterogeneous media and significantly boost the efficiency.

臺灣北部大漢溪剖面更新世卓蘭層至楊梅層之生痕化石分析

葉尚榮¹、陳文山¹、林日白¹

(1) 國立臺灣大學地質科學研究所

摘要

自蓬萊造山以來，造山運動的不斷作用，使得此前陸盆地得以接收大量來自周遭的沉積物，最後連盆地也被抬升至海水面上，形成現今熟知的西部麓山帶。而本研究探討的卓蘭層至楊梅層，則是海相至陸相的地層，屬早期更新統。本研究之大漢溪剖面的卓蘭層至楊梅層，位於石門水庫下游，下與錦水頁岩整合接觸、上與楊梅層整合接觸，是目前連續出露相對好的剖面位置。

生痕化石 (trace fossil) 是一個研究古時候沉積環境很好的工具，因其具有原地出現 (In Situ) 的特性，所以不會像化石一樣被搬運而有移置 (rework) 的問題，基本上可以認定生痕化石的出現就是原本生物活動的位置，而這些生痕化石就可以作為環境波動的敏感指標，因此，生痕化石的研究可以改善許多環境系統的特徵。

本研究一共劃分成6種生痕化石群落 (ichnocoenosis)，根據岩性組合、生物擾動程度、生痕多樣性和生痕豐度，定義了以 *Psilonichnus*、*Thalassinoides*、*Ophiomorpha*、*Cylindrichnus*、*Teichichnus* 和 *Scolicia* 為特徵的生痕化石群落。生痕化石群落是依據早期由 Seilacher 在1950、1960年代提出的生痕相為基礎，將其作更詳細的劃分，這樣是會更接近本研究區域所反映出來的環境特徵，而非大尺度的海洋深淺環境之的差異。

Psilonichnus 生痕化石群落代表的環境位於潮上帶，生痕化石分佈稀疏，偶有樹幹出現；*Thalassinoides* 生痕化石群落代表的環境位於潮間帶，因為河水的注入而形成半鹹水 (brackish-water) 的海洋環境，導致部分生物體的體型略為縮小、生痕的數量減少；*Ophiomorpha* 生痕化石群落代表的環境位於潮下帶，因水流能量很強所以帶來許多懸浮物質作為生物營養來源；*Cylindrichnus* 生痕化石群落代表的環境位於上部遠濱過度帶，生物擾動強烈，是許多的攝食構造富集的區域，攝食懸浮物及沉積物皆存在，因此環境水流能量強弱交替；*Teichichnus* 生痕化石群落代表的環境位於下部遠濱過度帶，生物行為轉為攝食沉積物為主，為高生痕多樣性、低至高豐度的特性；*Scolicia* 生痕化石群落代表的環境位於上部遠濱帶，此處已不受潮汐影響，偶爾會有暴風砂沉積，因此會伴隨著懸浮物攝食者的出現。

Controlling factors of the sedimentary environment on the late Pleistocene Ilan Plain

Pin-Ju Su¹, Yi-Jung Lin¹, Kuan-Yu Chen²

(1) Central Geological Survey, MOEA、(2) National Center of Research on
Earthquake Engineering, NARLabs

Abstract

The Ilan Plain, located at the southwestern end of the Okinawa Trough, has attracted significant research interest due to its unique tectonic significance; yet previous studies lack exploration into the interaction between eustatic sea level fluctuation and tectonic activity. This study interpreted the sedimentary environment along with the facies association based on 100 existing well data. A total of 201 (16 of which were newly added) carbon-14 dating results were recalibrated and arranged as time references. We found that marine sediments appeared at the Lanyang River mouth and its south side before 20 ka. The main environment deepened around 17.5 ka and 15-14 ka, partially coinciding with the meltwater pulses 1A, and the main transgression developed from north to south. From 12 ka, the rate of transgression slowed down and the seawater covered most of the plain ~8 ka. Afterward, the regression began from south to north and accelerated since 6 ka. The fluvial facies developed rapidly so that the neritic facies environment retreated to the northeast edge of the plain. According to the inclination and intervals of the isochronous surfaces and the environmental distribution, the rate of tectonic subsidence has increased since ~4 ka. A large amount of sediment supply filled the deepest area of the substrate in the north of the Lanyang River and left the seismic facies of propagation on the Ilan shelf. The environment of the Ilan Plain was controlled by both eustatic sea level fluctuation and tectonic subsidence, which controls the change of the environment to a considerable extent. In the follow-up, we will continue to explore the mutual control relationship to the sedimentary environment change, to improve our understanding of the depositional systems of basins with significant tectonic subsidence.

Keywords: Ilan Plain, Sedimentary environment, tectonic subsidence, eustatic sea level fluctuation

高雄地區鈣質超微化石生物地層及 移置化石的探討

The study on calcareous nannofossil biostratigraphy and implication of reworked fossils in Kaohsiung.

王聖宗¹

(1)經濟部中央地質調查所

摘要

臺灣地區自上新世以來，因蓬萊造山運動而在前陸盆地中堆積了巨厚的沉積物，這些沉積物主要是從造山帶剝蝕下來後堆積而形成。當中除了岩屑之外，更含有大量的移置化石，這些已滅絕的物種藉由剝蝕作用，反覆移置出現於年輕地層中，此現象將使研究者無法精準掌握地層中的生物最後滅絕面，導致許多生物帶在劃分上容易缺乏可靠參考依據。

本研究採集了仁武地區的井下岩心、高雄工學院剖面及雞南山剖面等樣本，透過更詳盡的鑑定與紀錄，重新檢討了高雄地區鈣質超微化石的生物地層，分別對南勢崙砂岩與大社層提出年代上的修正建議。同時，本研究觀察到移置化石於不同時期，在種類與豐度上有明顯的轉變，而這現象也隱示了前陸盆地在演育的過程中，沉積物源的轉變。

中文關鍵字：鈣質超微化石、生物地層、移置化石

Keywords: calcareous nannofossil, biostratigraphy, reworked fossils

臺南左鎮區二寮棘皮動物化石之研究
Study of fossil Echinoderms from Erliao, Zuojhen, Tainan, Taiwan

郭周昱⁽¹⁾，王良傑⁽²⁾，莊智凱⁽³⁾，王士偉⁽⁴⁾，米泓生⁽¹⁾

(1)國立臺灣師範大學地球科學系、(2)臺南市自然史暨化石研究協會、(3)自由研究者、(4)國立自然科學博物館地質學組

本研究透過形態觀察及特徵比較，針對產自臺南左鎮二寮出露之崎頂層中，總計 29 件的海星與 100 件海膽化石進行分類研究；另，經由化石泥質圍岩中所含超微化石分析，其地層年代相當位於 0.61-0.99Ma 區間（莊智凱，未發表）。

所有海星化石：外形均呈星形、腕數為 5 腕、腕之切面呈長方形、口面與反口面均呈平坦、體盤相對較小、上緣板與下緣板均明顯且對稱、緣板外形呈長方形且板上覆滿顆粒體與偶帶有棘刺、帶線明顯，以及背板較小且呈小柱體狀等共同特徵，可同歸屬於柱體目(Paxillosida)中的槭海星科(Astropectinidae)。再依據：背板大小、數量與排列；上、下緣板大小；腹板數，以及步帶溝寬窄等細部差異，可區分出 5 件槭海星(*Astropecten*)與 24 件鑲邊海星(*Crepidaster*)；但由於化石大多缺少鑑種特徵，目前僅能從中鑑定出 2 件華普槭海星近似種 *A. cf. vappa* 與 4 件黃昏鑲邊海星近似種 *C. cf. hesperus*。

另外，這批海膽化石標本雖然幾乎皆為內鑄型保存，且有不等程度的受壓變形，僅有極少數的化石標本上有肛下帶線的殘留，但根據海膽化石形態特徵：外殼呈偏圓心形、殼長與寬幾乎相等；反口面殼後方比前方高、殼最高處在後方的第 5 間步帶、頂系靠近殼後方、前方步帶寬且中等程度凹陷、瓣狀步帶靠近內帶線處寬而殼緣處細、瓣帶上有排列整齊且兩兩成對的步帶孔、無環瓣帶線、大型殼疣；在口面，靠近殼前側口圍凸出、唇板凸起、肛門呈現稍長的橢圓形等特徵，可將這些海膽歸屬於猬團目(Spatangoida)、拉文海膽科(Loveniidae)、棘心海膽屬(*Echinocardium*)，並且鑑定為同一種 *E. cordatum*。

本研究報告臺灣地區最年輕海星化石，是臺灣首次槭海星與鑲邊海星化石紀錄，也很可能是世界上首次報導鑲邊海星化石。

中文關鍵字：棘皮動物、海星化石、海膽化石、崎頂層、左鎮、臺灣

英文關鍵字：Echinoderm, fossil starfish, sea urchin, Chiting Formation, Zuojhen, Taiwan

臺灣烏賊化石首次報導

The first report of fossil cuttlebones of Taiwan

李世緯¹、李坤瑄²、王士偉³

(1) 國立海洋生物博物館、(2) 國立自然科學博物館生物學組、(3) 國立自然科學博物館地質學組

摘要

化石證據顯示烏賊起源於中新世早期（距今約 2200 萬年前），最早的化石均發現於地中海周圍與古地中海範圍；此區域於中生代時期範圍涵蓋甚廣，甚至包含現今之北非、中亞及東歐廣大地區。不論是古烏賊（Belosaepiid）或現代烏賊（Sepiida），其化石紀錄主要分布於今日捷克、波蘭、奧地利、荷蘭、法國、斯洛維尼亞、東至土耳其、埃及等地，其中又以捷克為最豐富；其它零星紀錄僅見於北美（古烏賊）、印度西部以及澳洲南部各一種。截至目前為止，臺灣地區除了鸚鵡螺類化石有幾件科學報導之外，頭足類中的其它類群均付之闕如。本研究即為初次針對臺灣新生代地層中的 15 件烏賊內殼（cuttlebone）化石進行研究；包括桃園大溪 3 件，台南玉井 10 件，高雄半屏山 1 件，以及嘉義石碇 1 件。鑑定結果共 3 屬 9 種，分別為 *Metasepia tullbergi*, *Sepiella japonica*, *Sepia aculeate*, *S. pharaonis*, *S. madokai*, *S. pardex*, *S. recurvirostra*, *S. lycidas*, *S. latimanus*；其內殼形態皆與現有臺灣周遭區域物種吻合，並無新種發現。迄今，烏賊類群如何自地中海起源地分布至世界各地，其生物遷徙路徑一直未明。經由本研究新發現，烏賊很可能是沿著亞洲大陸的南緣淺海，邁向北亞與澳洲；另外、臺灣的晚期上新世至更新世烏賊化石，為目前全球僅有紀錄，考量本批標本在數量與多樣性方面的豐富，臺灣的烏賊化石極具演化與生物地理學上的意義。

關鍵字：烏賊化石、頭足類、桃園大溪、台南玉井、桂竹林層、生物遷徙

Keywords: cuttlebone fossils, cephalopods, Taoyuan Daxi, Tainan Yujing, biological migration

大屯火山群蒸氣噴發的影響範圍與石英分佈研究

Research of quartz distribution from the impact of phreatic eruption at Tatun Volcanic Group

林毓潔¹、賴昱銘¹

¹國立臺灣師範大學地球科學系

摘要

1990年，農化系教授在大屯火山群做土壤調查時發現大屯火山群土壤之石英含量很高。他們根據土壤化育的觀點認為大屯火山群的母岩為石英安山岩(黃政恆、陳尊賢, 1990)。之後，林毓潔(2013)在大屯火山群土壤中發現許多石英顆粒，並分析石英的鋅同位素，得知其源自大屯火山群底下第三紀地層。廖陳侃(2018)在七星山西側裂隙上的爆裂口-鴨池的上、中、下池採淺井沉積物，發現粒徑 $>125\mu\text{m}$ 的石英含量並不等量。此外，宋聖榮(2021)在七星山東側爆裂口鑽井岩心中發現砂岩岩屑，由此可知大屯火山群除了地表土壤含有許多石英外，在爆裂口沉積物中發現的砂岩岩屑更是應證了大屯火山群土壤石英源自第三紀地層。由於在爆裂口沉積物中並未找到任何的火山玻璃及浮石，表示這些石英顆粒並非透過岩漿噴發作用被帶至地表沉積，而是透過蒸氣噴發作用將石英從大屯火山群底下基盤帶至地表。

已知大屯火山群中的石英來自底下第三紀地層，且表土中的石英廣泛分佈於大屯火山群全區。本研究為了瞭解蒸氣噴發的影響範圍，以及區分不同地質條件下石英的型態和分佈情況，將採集表層土壤剖面並記錄石英的連續分佈狀況。初步規劃的採樣區域包括熱水換質區、凝灰角礫岩區和爆裂口周邊。其中熱水換質區包括四礫坪，爆裂口地區包括硫磺谷和龍鳳谷地區，位於後山公車站的區域則是凝灰角礫岩區。此外，本研究將採集位於南礫溪的火山泥流露頭(Belousov et al., 2010)，並進行組成礦物的分析。若此火山泥流露頭也夾雜石英顆粒，將進一步證實此處確為 Belousov 等人認為的蒸氣噴發事件產物。

關鍵字：大屯火山群、石英、蒸氣噴發

Keywords: Tatun volcanic group, quartz, phreatic eruption

使用 A2C 煙陣擴散模式模擬大屯火山群爆發時火山灰的擴

散情形

Using A2C t&d model to simulate tephra dispersion on Tatun Volcanic Group

林毓潔¹、賴昱銘¹、曾慧婷²

¹國立臺灣師範大學地球科學系

²交通部中央氣象局氣象科技研究中心

摘 要

大屯火山群從過去的休眠火山更名為活火山後，近年來，大屯火山群的岩漿活動徵兆越來越明顯，今年2月17日位在七星山的地震更是引起人們的關注，因此政府也將火山防災相關資訊納入災防疏散訓練中。本研究利用 A2C 煙陣擴散模式(Atmosphere to CFD transport and diffusion model)，模擬火山爆發時，火山灰雲在大氣中的分佈狀況以及火山灰於地表的分佈及累積情形。

A2C 煙陣模式需要的參數如下：Plume 噴發高度(km)、Plume 半徑(km)、不同粒徑的 Tephra 量(kg/m³)、沉降速率(m/s)。本研究選用 USGS 提供的不同 VEI 之火山灰雲噴發高度、Tephra 量，以及岩石質火山灰之平均密度等參數等。並假設在大油坑發生 VEI=3 和 4(火山爆發指數 VEI, Volcanic Explosivity Index)的火山爆發，火山口半徑 240m(參考磺嘴山山火山口)，設定每 10 秒紀錄一次，連續噴發 5 分鐘並持續追蹤 5 天火山灰的變化，得知火山灰在大氣中的分佈狀況，用以提供災防中心作為火山災害的參考資料。

關鍵字：A2C 煙陣模式、大屯火山群、火山灰、火山爆發指數(VEI)

Keywords: A2C t&d model, Tatun volcanic group, Tephra, Volcanic explosivity index

大屯火山群火山災害致災評估與可能噴發型式之檢討

Re-examine the volcanic risk assessments and the most probable eruption type at Tatun Volcano Group

賴昱銘^{1,*}、唐懷昱²、林毓潔¹、宋聖榮²

¹ 國立臺灣師範大學地球科學系

² 國立臺灣大學地質科學系

摘要

大屯火山群被認定為活火山，對於大屯火山群噴發可能造成的災害種類及影響範圍，已有部分已公開之火山地質圖及火山災害影響範圍圖。本計畫針對大屯火山群的火山災害種類、名詞定義、過去研究之困難處等面向進行討論，並提出往後之研究建議。大屯火山群之火山災害的種類，應考慮火山噴發的直接或間接產物，包括火山熔岩流、火山碎屑密度流、火山灰傳播與灰落，以及火山泥流。此外，火山岩屑崩落與蒸氣噴發事件則是現階段最可能直接造成災害的種類。根據大屯火山群七個可明確判釋熔岩流地形的熔岩流（竹子山亞群第四期、大屯山亞群烘爐山與面天山、七星山亞群紗帽山、磺嘴山亞群八煙與大坪熔岩流、丁火宿山亞群第五期噴發物）體積估算結果，單一熔岩流事件約為 0.09-0.84 km³。大屯火山群火山體北方與海岸間的火山泥流分布於淡水、三芝、與石門區，體積約為 0.79-5.16 km³。火山碎屑密度流的體積估算結果，最大規模噴發量可達 6.0 km³。這些最大噴發體積之探討，可提供防災單位進行規劃。由於現有大屯火山群鑽井位置集中、鑽之基盤岩的深井甚少、且各岩心資料於岩相定義不一致、紀錄不完整、資料未公開等情形，使得在互相對比上窒礙難行，建議未來從岩心中挑選重新開箱檢視並進行整合與比對。

關鍵詞：大屯火山群、火山災害、熔岩流、火山泥流、蒸氣噴發

各類火山災害模擬軟體於臺灣北部大屯火山群的應用與致災概率評

估：以熔岩流與火山泥流為例

Application of volcanic disaster simulation software and assessment of disaster probability to the Tatun Volcanic Group in Northern Taiwan: an example of lava flow and lahar

唐懷昱¹、賴昱銘²、宋聖榮¹

¹ 國立臺灣大學地質科學系

² 國立臺灣師範大學地球科學系

大屯火山群鄰近於台灣的首都台北市以及兩座核電廠，被世界火山學會火山災害專書評選為高危害風險的火山之一，卻鮮少有研究探討此區域火山災害影響的範圍與概率。火山災害多變的形式具有極高的不確定性，模擬軟體提供我們探討火山災害致災範圍與概率評估的可能，然而各類火山災害的物理機制差異甚大，軟體所需要輸入的地質資料與產出結果不盡相同。依照軟體模擬計算方式可分為：(1)確定型(Deterministic)、(2)半經驗(semi-simple empirical)模型，計算出的成果則可分為：(1)概率模型地圖(Probabilistic model map)、(2)情境模型地圖(Scenario model map)；如何在不同地質背景及分析案例間選擇適合的模擬軟體是值得探究的議題。因此本研究將聚焦於兩個重點：(1)檢視現階段常使用的火山災害模擬軟體並配合前人文獻彙整分析各軟體在大屯火山群應用的優劣勢。(2)針對此區域的熔岩流與火山泥流進行實際應用，提供科學化的數據供後人進行防災規劃參考。

研究結果顯示各類火山災害模擬軟體共計有多達 70 餘種，其中應用於熔岩流有 25 種，火山泥流則有 8 種。鑒於大屯火山群較少有物理火山學、熔岩流變學(lava flow rheology)的研究成果，本研究選擇半經驗(semi-simple empirical)的模擬軟體(1)Q-LavHa 用於熔岩流與(2)LaharZ 用於火山泥流災，配合火山群中過去熔岩流與火山泥流事件的體積與流動距離長度做為參數，進行未來災害的初步致災概率評估。以大屯火山群一面天山亞群為例進行模擬，結果顯示若面天山再次

發生熔岩流噴發事件，將高機率影響北投、紅樹林與三芝區域。若發生火山泥流事件則，面天山中心北、西、南側約兩公里可劃定為近端火山泥流致災區，而遠端火山泥流致災區則以公司田溪與下圭柔溪下游區域擴散分布。

關鍵字:大屯火山群、火山災害評估、熔岩流災害、火山泥流災害

Keywords: Tatun Volcanic Group, Hazard assessment, Lava flow hazard, Lahar Hazard

臺灣北部大屯火山區群之最年輕火山穹丘的分類、構造與噴發歷史
Classification, textures and eruption history of the youngest lava dome in the Tatum
Volcanic Group, Northern Taiwan

唐懷昱¹、賴昱銘²、宋聖榮¹

¹國立臺灣大學地質科學系

²國立臺灣師範大學地球科學系

根據斜長石中 ^{226}Ra - ^{230}Th 的不平衡性研究 (Zellmer et al., 2015)，位於臺灣北部的大屯火山群紗帽山的噴發年代約 18 Ka，是鄰近於首都台北市的第四紀活火山，其所造成的任何火山災害都有可能造成嚴重的生命財產損失。然而回顧相關前人研究，鮮少有探討關於紗帽山的類型、構造與噴發歷史；未來進行防災評估時，火山地質的資訊至關重要，應不可忽視。因此，本研究利用數值地形模型、鑽井和野外調查資料；透過地形分析、岩石學分析探討紗帽山火山穹丘的類型、構造與噴發歷史，提供基礎火山地質資訊供後續火山災害評估相關研究使用。

地形特徵辨識上紗帽山可分為二個部分，第一部分為紗帽山西南側的熔岩流，具有扇狀且平坦的地形特徵。第二部分則為的紗帽山主體，具有近似「鐘狀」外型的並可於頂部見到火山口(crater)。在火山口之中則有另一個小穹丘顯現穹丘特有的摺痕(crease)構造。前人的放射性定年研究顯示，第一部分的年代約為 0.41 Ma，主要為兩輝安山岩具有平板狀節理塊狀熔岩流為主，第二部分的年代為 18 Ka，主要為普通輝石-角閃石-紫蘇輝石安山岩並且在產狀上較第一部分更為複雜；山體的中央以及頂端以具混亂節理的塊狀安山岩為主，山體外圍則以火山穹丘的崩積物(Talus)為主。全岩地球化學特徵上 SiO_2 的含量第二部分較第一部分高， FeO 以及 MgO 則較低；指示源區岩漿發生分異作用隨時序演進逐漸酸化。

綜合上述研究結果，紗帽山屬於 Peléean type 的火山穹丘，其噴發歷史可分為三個階段：第一階段於 0.41 Ma 時發生小規模的溢流式噴發(effusive)，形成現在位於紗帽山西南角的扇狀兩輝安山岩熔岩流發。噴發活動停止，源區岩漿朝酸性

演化，黏滯度升高。直至距今 18 Ka，岩漿岩破裂通道上湧而出，此時的擠出式噴發(extrusive)形成現今紗帽山的主體與火山口，即為第二階段。最後隨岩漿演化更加酸性，在第二階段噴發所遺留的火山口中形成了第三階段的小火山穹丘並保留下褶皺構造，形成現今所見到的紗帽山。

關鍵字: 噴發歷史、皮里恩式火山穹丘、大屯火山群、紗帽山

Keywords: Eruption history, Pelèean type lava dome, Tatun Volcanic Group, Mt. Shamao

以流體地球化學監測結果揭示台灣北部大屯火山群 近期異常活動

李曉芬^{1,2}, 賴雅娟^{1,2}, 陳艾荻^{3,4}, 史旻弘^{1,2}, 林正洪^{1,2,5}, 羅清華^{3,4}, 劉進興^{1,2}, 蒲新杰⁶,
洪國騰⁷

(1) 財團法人國家實驗研究院國家地震工程研究中心 (2) 大屯火山觀測站 (3) 永續地
球尖端科技發展中心 (4) 國立台灣大學地質科學系 (5) 中央研究院地球科學研究所 (6)
中央氣象局(7)中央地質調查所

摘要

大屯火山群 (TVG) 是位於台灣北部的一座活火山。由於鄰近台北都會區，火山活動可能會產生重大影響。結合近期地球化學指標變化和地震事件監測結果，2017-2018年火山活動相對平靜。2018年底出現深部熱液上升流，此時全區噴氣中氯化氫成分開始增多。同時，2019年地震活動增多，在TVG地區發生多起大範圍、深震源地震事件。接著觀察到火山噴氣中的氫氣濃度增加，氯化氫濃度也持續增加。地震活動個數在2020年時達到頂峰，隨後在2020下半年觀察到大油坑地區的溫泉水中陽離子濃度期急劇增加，這現象可能是由於大量深部熱液湧出造成。2021年在大油坑地區持續出現噴氣與溫泉水異常，但隨著壓力的釋放，地震活動有所減緩。12月時，監控錄像顯示大油坑地區主噴氣孔上方出現新的噴氣孔，並在約20天後消失。地表環境特徵也顯示這一時期有大規模泥漿飛濺現象。同時段噴氣中的幾個重要參數，包括 $\text{SO}_2/\text{H}_2\text{S}$ 、 HCl/CO_2 、 He/Ar 比值，也觀察到顯著變化，溫泉水中陽離子濃度也達到最高峰。根據這些變化，推測於2021年底在大油坑地區可能發生了一次小型的熱液噴發。本研究建議，持續監測應更多關注未來是否有更多的岩漿信號，或熱液活動可能引發的災害。

關鍵字：大屯火山群、流體地球化學、火山監測

Keyword: Tatun Volcano Group, fluid geochemistry, volcano monitoring

火山垮塌及伴隨之岩漿活動事件: 以北呂宋島弧綠島為例

Volcanic collapse and subsequent magmatic activity events: The case study of Lutao in the Northern Luzon Arc

唐懷昱¹、宋聖榮¹、賴昱銘²

¹ 國立臺灣大學地質科學系

² 國立臺灣師範大學地球科學系

垮塌作用(collapse)為層狀火山的特色之一,其機制多半與岩漿活動以及構造作用影響相關,如:岩漿入侵、熱液作用、區域大地構造應力擠壓或應力方向改變;而垮塌之後使淺部岩漿庫荷重減少(減壓)是觸發火山再次噴發的重要機制。位處臺灣東南方的綠島是為呂宋島弧北延的部分,與海岸山脈以及蘭嶼被普遍認為能夠展現島弧火山隨時間與空間的演變序列;綠島提供保存良好的露頭,是探討島弧火山隨弧陸碰撞演變歷史的好題材。鑒此,本研究針對綠島進行野外調查,釐清火山岩的產狀與分佈,再透過岩象、岩相以及放射性定年分析建立火山層序與火山相,同時彙整前人研究之成果,剖析島弧火山於弧陸碰撞過程中所引起的火山垮塌及伴隨之岩漿活動事件。

前人研究顯示,綠島火山岩的岩象的鐵鎂礦物含量,隨著時序演進有橄欖石、輝石減少,角閃石、黑雲母增加的趨勢。綠島東北側燕子洞至南側龜灣鼻海岸沿線,以數層橄欖石—輝石、輝石—角閃石火山碎屑密度流(PDCs)、火山岩屑崩落(Debris avalanche)、熔岩流(Lava flow)為主。可側向追蹤之火山碎屑岩層的位態顯示,綠島東側以柚子湖為中心,北側呈現 N85° E/30° N,南側呈現 N60° W/25° S,指示綠島東側過去有地形高區存在。柚子湖至海蔘坪一帶可觀察到數個放射—水平排列柱狀節理的含黑雲母熔岩流出露,具火山頸(conduit)的特徵;東南與東北側則分別有含黑雲母的皮里恩式與隱藏式火山穹丘(Pelècan & crypto dome)出露,反應末期岩漿侵入作用;這些火山頸與火山穹丘截切、入侵至前述的火山角礫岩層。

原於現今柚子湖至海蔘坪東側形成地形高區，於 1.5 Ma 左右隨著弧陸碰撞持續擠壓與抬升使綠島東側地形高區發生裂隙，含有黑雲母的岩漿得以延裂隙上升，形成隱藏式火山穹丘並促使東側發生火山垮塌。此垮塌作用造成淺部岩漿庫減壓，觸發最末期之噴發。綠島所見之火山垮塌與伴隨之岩漿活動模式，可提供借鏡檢視海岸山脈沉積盆地岩層大尺度的火山崩塊成因以及含黑雲母火山灰之解釋。

關鍵字:弧陸碰撞、垮塌作用、隱藏式火山穹丘、北呂宋島弧、綠島

Keywords: Arc-Continent Collison、Collapse、Crypto dome、Northern Luzon Arc、Lutao

天空、陸地、大海:火山碎屑密度流的奇幻旅程

Sky, ground and sea: The fantastic journey of Pyroclastic Density Currents

唐懷昱¹、宋聖榮¹、賴昱銘²

¹ 國立臺灣大學地質科學系

² 國立臺灣師範大學地球科學系

火山碎屑密度流(Pyroclastic Density Currents, PDCs)是所有火山作用之中最致命的噴發形式，其移動速度可高達三百餘公里，橫跨地貌、穿越水面的移動特性使其極度容易造成重大傷亡。過去多數的研究之中，認為火山碎屑密度流由兩個極端密度的流體運動所組成，分別稱為：(1)火山湧浪(pyroclastic surges)(即低(稀)濃度，完全湍流(turbulent)作用)以及(2)火山碎屑流(pyroclastic flow)(即高濃度，非湍流至湍流)。透過現生火山噴發事件的觀察、大型實體實驗配合電腦模擬的計算，使當代火山學家逐漸理解火山碎屑密度流具有相當複雜且多變的流體運動行為，範圍從四向耦合(4 way coupling)至單向耦合運動的運動行為皆有；同時也能夠進一步區分其在沉積構造特徵上所反應的沉積作用物理意義。

臺灣位處板塊邊界，具有島弧火山鏈(Arc volcano chain)如:海岸山脈、綠島及蘭嶼。同時也具有分佈式火山場(distributed volcanic field)如：大屯火山群、澎湖火山群島等不同成因的火山，是透過地質記錄研究火山活動的絕佳地點。然而國內對於火山碎屑密度流相關地質紀錄的研究較少，這些研究之中所使用的解釋偶見用詞定義、解釋的矛盾之處。因此，本研究彙整當今火山學界對於火山碎屑密度流的前緣資訊與觀點，全面介紹火山碎屑密度流的移動至堆積作用過程；同時作者過去於臺灣東部海岸山脈、綠島所見之火山碎屑密度流露頭，重新檢視與剖析陸上、陸地進入海中的火山碎屑密度流，解釋其背後的火山作用與意義，同時提供這些案例讓國內火山災害相關工作者，做為火山災害之可能場景評估考量。

關鍵字:火山碎屑密度流、陸地至海中、北呂宋島弧、臺灣

Keywords: Pyroclastic Density Currents, subaerial into subaqueous, Northern Luzon Arc, Taiwan

Fault zone dynamic from fiber optic sensing of MiDAS

Kuo-Fong Ma^{1,2}, and MiDAS Project team

1: Institute of Earth Sciences, Academia Sinica, Taiwan

2: Department of Earth Sciences, National Central University, Taiwan

The opportunity to map and observe the fault zone behavior at depth with high spatial resolution are rare as also the challenge itself on targeting and identifying the fault zone at depth. The MiDAS project successfully retrieved the fault core associated with Milun fault zone, which could be also seen in geophysical logs with low velocity and resistivity, and mapped using Optical Fiber Sensing technique of the downhole fiber. Within the Milun fault zone, while a 20m thick fault core with grey and black gouge was discovered, a distinct seismic feature associated with this 20m fault gouge was found by its amplification of the strain records from DAS. This amplification ratio is about 2.5-3 when compared to the channels at deeper depth related to a consolidated rock material. This amplification factor was frequency and azimuth independently with similar amplification factor. Our study shows that the amplification from this 20m fault gouge zone is mainly from the nature of the heterogeneous medium in elastic constant while crossing the fault zone, especially the fault core. Similar feature at surface but with wider surface rupture zone (~ 200m) was found in DAS data as well although less evidence using commercial fiber, while could be validated from the densely deployed geophones crossing the surface rupture of the 2018 Hualien earthquake. Through the depth, a high-resolution asymmetric feature of this active fault was evidenced from the downhole optical fiber and cores. In addition to the observation through several earthquake sequences, the recording from 18 September 2023, M7.0 Chishang earthquake revealed a static strain changes through depth, which might be able to help us to map a 3-D strain-field of a significant earthquake. Probing the fault zone directly from this emerging high-resolution technology is exciting, and hope to bring innovative understanding of fault zone dynamics.

花蓮地區地下構造與米崙斷層錯動機制

張文彥^{1,3}，王乾盈²，馬國鳳^{2,3}，孫志財¹，郭炫佑²，胡玉燕²

¹東華大學自然資源與環境學系 ²中央大學地球科學系

³中研院地球科學研究所

摘要

2018年花蓮地震(Mw6.4)引發米崙斷層錯動，雖然震央在北方立霧溪口，但GPS及InSAR資料顯示：米崙斷層呈弧狀由南往北錯動，且花蓮地區出現三處圓型地形抬升，有明顯旋轉現象。此奇特的地形變現象，顯與花蓮地下複雜構造分布有密切關係。本研究利用高解析度反射震測，探討花蓮海岸平原(含米崙台地)的地下地質構造，嘗試解釋地震地形變的可能機制。

本研究使用震盪車震源及240波道系統，在花蓮隆起海岸平原分年進行高解析反射震測，共完成測線10處，每處含兩條交叉測線，每條長度1~3公里。測線分布從北海岸七星潭，經米崙台地及吉安區，南至光華區及木瓜溪。這些震測剖面均出現第三紀基盤面，在橫跨縱谷東西剖面上呈半碗狀，在米崙溪最深1公里，到木瓜溪最深則達2公里，其上沉積了水平近代沖積層，微向東傾，分為上沖積層(花蓮砂泥層)及下沖積層(米崙礫石層)。更有趣的，出現三處大規模橢圓柱狀地層抬升降起，與2018地震之三圈同震變形位置一致：北米崙隆起、南米崙隆起及光華隆起，每個範圍大小約3km x 4km，隆起之邊緣處部分有地層彎曲，部分則地層彎曲兼具錯動，錯動位置與米崙斷層或部分縱谷斷層位置相符。南米崙隆起以米崙山為中心，範圍最廣，北及南米崙隆起共同形成米崙台地，中間夾著中米崙台地之低地，即花蓮港位置。另外，沿古沙婆礁溪(建國路)及木瓜溪各有兩處較不明顯的東西向線型板狀抬升，是為米崙溪障礙及木瓜溪障礙，這些線型障礙可能與隆起有相互關係。

本研究以「抬升構造」解釋此三處圓柱隆起的背斜構造及兩處障礙。海岸山脈板塊在往北隱沒的過程中，因板塊下沉彎曲引發張裂，導致板塊岩漿材料向上噴發，形成二處障礙及三處抬升降起，且愈北愈年輕，活動愈激烈。地震時，破裂往南遇米崙溪障礙，觸動南米崙隆起下沉及右旋，帶出米崙斷層往北破裂，也導致北米崙隆起右旋，及光華隆起左旋。

北米崙台地為抬升最大的構造，該處最近完成米崙斷層鑽井，鑽獲的地層及米崙斷層位態，與震測推估的構造一致。

關鍵詞: 2018 花蓮地震、米崙斷層、花蓮平原構造、反射震測

Temporal monitoring of the active Milun fault zone using downhole distributed fiber-optic sensing

Huang, Hsin-Hua^{1,2}, Kou-Fong Ma^{1,4,5}, En-Shih Wu³, Yun-Ze Cheng¹, Chin-Jen Lin¹, Chin-Shang Ku¹, Po-Li Su¹, and MiDAS working group

(1) Institute of Earth Sciences, Academia Sinica, Taiwan, (2) Department of Geosciences, National Taiwan University, Taiwan, (3) Institute of Oceanography, National Taiwan University, Taiwan, (4) Department of Earth Sciences, National Central University, Taiwan, (5) Earthquake-Disaster & Risk Evaluation and Management Center, Taiwan

Abstract

The occurrence of seismic or aseismic slips on a fault is primarily controlled by fault zone structures and their properties. However, the buried subsurface locations or strongly weathered outcrops of active faults often pose a challenge for conducting high-resolution in-situ observations. The Milun fault ruptured both to the surface during the Hualien earthquakes of 1951 and 2018 in eastern Taiwan with a relatively well-known geometry, offering a unique venue to investigate the active fault zone using a cutting-edge distributed acoustic sensing (DAS) technique. DAS utilizes the interaction of photons with intrinsic defects of fiber to translate the phase shift of scattering echoes into longitudinal dynamic strain every few meters along the fiber, enabling continuous and high-resolution monitoring across the fault zone. The Milun Fault Drilling and All-inclusive Sensing project (MiDAS), launched in late 2021, drilled two holes in the hanging wall (Hole A) and footwall (Hole B) of the Milun fault and reached the fault zone at a depth of approximately 500 meters in Hole A. The analysis of the DAS strain rate data shows good agreement with the acceleration data of a nearby accelerometer in terms of both spectrum and amplitude. The high-density sampling of downhole fibers allows us to identify a 20-meter-thick major fault zone and several hidden faults at different depths in Hole A. An amplitude-based method is proposed to employ the unique properties of the strain data to directly map the subsurface velocity structures over time. The derived velocity profiles are consistent with the logging velocity profile and stable over time. With high spatial resolution from DAS, this method may offer a new means for detailed temporal structural monitoring for wide applications such as energy exploitation, groundwater management, and geohazards monitoring.

MiDAS 井下地震儀陣列深度及方位校正

林彥宇^{1,2}、林欽仁³、陳文瑜²

(1)國立中央大學地球科學學系、(2)國立中央大學地震災害錄風險評估及管理研究中心、(3)中央研究院地球科學研究所

摘要

米崙斷層鑽井研究計畫(Milun fault Drilling and All-inclusive Sensing project, MiDAS)已於2022年中完成米崙斷層上盤(井A；700公尺)及下盤(井B；500公尺)科學鑽探，並於2022年底於此兩口井中安裝井下地震儀陣列及光纖地震儀。本研究首先利用互相關分析來尋找井下光纖最深處之節點，透過已知深度節點之光纖地震儀應變率(strain-rate)波形，與井下地震儀加速度(acceleration)波形到時(arrival time)比較，完成各井下地震儀深度校正，使用地震事件為距鑽井場址20km之規模3.5~3.8區域地震。此外，透過經由尋北儀對準正北之地表地震儀，利用0.1至10Hz之低頻地震波形，依序校正各深度地震儀之兩水平軸與正北之夾角，使用地震事件為花蓮台東附近之規模6.2至6.8地震。本研究也使用譜機率密度函數(Probabilistic Power Spectral Density)檢測儀器穩定度及探測區域雜訊水平，結果顯示目前儀器穩定運作且1~50Hz之區域雜訊落於-120至-100dB之間。以上儀器校正成果將有助於後續地震動相關研究使用，期待MiDAS地震監測系統之嶄新地震學發現。

機器學習於 DAS 振動訊號監測之應用

古進上¹、馬國鳳^{1,2,3}、黃信樺^{1,4}、林欽仁¹

- (1)中央研究院地球科學研究所
- (2)國立中央大學地球科學系
- (3)國立中央大學地震災害鏈風險評估及管理研究中心
- (4)國立台灣大學地質科學系

摘要

Distributed acoustic sensing (DAS)是地震學中新穎的觀測技術，其能量測光纖上每一段距離（以幾公尺為間隔）的動態應變，搭配資料的高取樣率，DAS相較於傳統的地震儀器能夠在空間及時間上提供更高解析度的資訊。中央研究院地球科學研究所（Institute of Earth Sciences, Academia Sinica; IESAS）及國立中央大學地震災害鏈風險評估及管理研究中心（Earthquake-Disaster & Risk Evaluation and Management Center, National Central University; E-DREaM）於2021年聯合提出米崙斷層鑽井及井下監測計畫（Milun fault Drilling and All-inclusive Sensing Project; MiDAS），此計畫在該區域進行一系列地質、地球物理及地球化學等採樣及觀測實驗，其中也包含DAS的觀測。MiDAS於2021年底安裝井下光纖並進行DAS連續觀測。本研究利用DAS資料在時空上高解析的特性，去檢視MiDAS於井下光纖安裝後所記錄到的特殊振動訊號，並利用機器學習圖形辨識方法（YOLOv4）去檢測此類訊號發生的時間與位置（深度）。經過分析2022/01-2022/03連續三個月的DAS資料，發現此類振動訊號發生的次數於2022年1月後半段有巨幅降低的情況，初步判定此類特殊訊號與井內水泥灌漿及其後續凝固有關，但其產生應力變的實際機制仍有待後續進一步探討。此研究成功利用圖形辨識方法進行訊號辨識，未來可進一步利用此方法進行區域微震活動或其他地動訊號之監測。

關鍵詞：DAS、機器學習

On the Potential of Fiber-Optic Sensing for On-site

Earthquake Early Warning

En-Shih Wu¹、 Hsin-Hua Huang^{2,3}、 and MiDAS working group

(1)Institute of Oceanography, National Taiwan University, Taiwan、(2)
Institute of Earth Sciences, Academia Sinica, Taiwan、(3)Department of
Geosciences, National Taiwan University, Taiwan

Abstract

Taiwan is an active orogenic belt located at the junction of the Eurasian plate and the Philippine Sea plate. The seismicity rate is high and the number of M4+ felt earthquakes can reach about 400 per year. The risk of damage to urban areas is considerable, underscoring the importance of the Earthquake Early Warning (EEW) system in reducing potential hazards. Two prevailing methods in the EEW system use the ground-motion period parameter τ_c and a high-pass filtered vertical displacement amplitude parameter P_d from the initial 3 sec of the P waveforms to alert for the upcoming strong shaking (Wu et al., 2008). A recent study by Farghal et al. (2022) suggests that distributed acoustic sensing (DAS) may have the potential for EEW applications if the conversion of strain data to displacement can be accurately achieved. In this study, we explore the relationship between DAS-derived strain and strain rate data, recorded by two DAS experiments for on-site EEW applications. One is the Milun fault drilling experiment (MiDAS) and the other is the ground-tapped fiber experiment at the Research Center for Environmental Change (RCEC) building in Academia Sinica. We utilize the initial 3 seconds of the strain data as the parameter P_d and the maximum peak of strain rate data as PGV. Our preliminary findings suggest that the strain and strain rate data have a good linear relationship at both the MiDAS and RCEC sites. The MiDAS site is, in particular, an ideal experimental site with good coupling for the majority of installations and allows us to confirm the found linear relationship between the strain and strain rate data for EEW applications. The RCEC site, on the other hand, represents a more realistic scenario for utilizing existing telecommunication cables in urban areas and buildings, which, if validated, could turn ubiquitous existing optical fiber infrastructure into a valuable tool for on-site EEW in the future.

光纖地震儀水平陣列之應用

林欽仁、馬國鳳、黃信樺、古進上

摘要

隨著「跨米崙斷層井下光纖地震研究」於2021年年底成功安裝台灣首例的井下光纖地震儀，國內地震學界與產學界也正式展開光纖地震儀的研究。光纖地震儀的原理基於分散式聲波感測技術，能夠以公尺級的空間解析度來觀測數十公里甚至百公里長光纖沿線之動態形變。過往的研究證實透過地震儀陣列推算應變技術與光纖地震儀直接應變觀測能夠相比較，此研究將進一步探討將光纖線纜在地表以0-45-90度三分量排列方式，使其成為水平應變陣列，並嘗試將應變資料結合傳統地震儀觀測，發展震源追蹤到地下速度構造反演等之地震學應用。

關鍵詞：分散式聲波感測技術、地震儀陣列、水平應變張量

Petrographic characterization of some metamorphic rocks from MiDAS drill core samples: a preliminary report

Chin-Ho Tsai¹、Wen-Han Lo¹、Dominikus Deka Dewangga¹、Chih-Ying Yeh¹、Li-Wei Kuo²、Yoshiyuki Iizuka³

(1) Department of Natural Resources and Environmental Studies, National Dong Hwa University、(2) Department of Earth Sciences, National Central University、(3) Institute of Earth Sciences, Academia Sinica

Abstract

Three core samples from the MiDAS project (Hole A) have been analyzed by optical microscopy, SEM-EDS, and EPMA. Two samples (~503 m and ~514 m depths) are metamorphic rocks and another underlying sample (~517 m depth) is of sedimentary nature though its source materials are metamorphic. The two metamorphic samples are pelitic schists with various degrees of retrogression. The lower schist is characterized by garnet (almandine-rich) porphyroclasts and albite porphyroblasts in a foliated quartz-mica matrix. Accessory phases include rutile, ilmenite, apatite, and sulfides. The porphyroclastic garnet is flattened, fractured and partially replaced by chlorite. Inclusions in garnet are mainly ilmenite and quartz. The porphyroblastic albite commonly contains an internal foliation defined by tiny inclusions. Dolomite also occurs locally as porphyroblasts with inclusions of quartz, iron-rich carbonates, and apatite. The foliated matrix is composed of quartz, phengite, and paragonite. The upper schist is petrographically similar to the lower one, except the former does not contain porphyroblasts of albite and dolomite. The upper schist is also more retrogressed than the lower one. The sample underlying the lower schist is a green rock characterized by variegated clasts (mainly chlorite-carbonate rocks, carbonates, and rare serpentinite) in a poorly-consolidated matrix of clay-sized talc, chlorite, and magnesite. This green rock is essentially sedimentary and with *mélange*-like features. The source materials for the clasts and the enclosing matrix seem to be from serpentinite-related metasomatic zones. The two pelitic samples are petrologically similar to the so-called “spotted schist” of the Yuli belt. A genetic connection is thus inferred. This MiDAS drill site is near the Milun Conglomerate. However, the studied samples are different from the rock types of the Milun Conglomerate. Therefore, the studied samples and their host (503.2–517.2 m) appear to be allochthonous.

Clay Characteristics in the fault zone of the Milun fault

Yung-Ya Ling¹, Li-Wei Kuo^{1,2}, Pei-Chi Chiang¹, Yu-Qing Huang¹, Wen-Jie Wu³, Kuo-Fong Ma^{2,4}

(1) Department of Earth Sciences, National Central University, Taoyuan 320, Taiwan

(2) Earthquake-Disaster & Risk Evaluation and Management Center, National Central University, Taoyuan 320, Taiwan

(3) Department of Geology, Chinese Culture University, Taipei 111, Taiwan

(4) Institute of Earth Sciences, Academia Sinica, Taipei 115, Taiwan

Abstract

A large earthquake (M_w 6.4) struck Hualien in 2018, triggering the fault rupture of the Milun fault. The Milun fault Drilling and All-inclusive Sensing (MiDAS) project was undertaken to gain a better understanding of the structure and properties of the Milun fault. In MiDAS, three boreholes (A-C) were drilled with continuous coring in borehole A and C aiming to retrieve fault zone materials. The Milun conglomerate was the main rock, while the Milun fault zone was recognized at a depth of 491.05 m to 540.30 m, consisting mainly of altered rocks and gouge. In particular, an interval of core from hole A consisting of several distinct layers of black gouge was observed at a depth of ~522.45m, which was not observed at the other depths. We will conduct optical microscopy, scanning and transmission electron microscopy, and in-situ synchrotron X-ray diffraction analysis on the samples to determine the mineralogical and microstructural characteristics and to reveal the fault-related processes. By applying the proposed state-of-the-art methods to the retrieved sample, the aim of this study is to investigate whether the sample contains a principal slip zone, which may provide insight into possible faulting mechanisms of the Milun fault and earthquake physics.

Origin of sand-rich interval in the Milun fault zone and its implication

Yu-Qing Huang¹, Li-Wei Kuo^{1,2}, Tze Yuan Chen¹, Kuo-Fong Ma³, Amanda Lin³, Chloe Jiang³, Wen-Jie Wu⁴

(1) Department of Earth Sciences, National Central University, Taoyuan 320, Taiwan, (2) Earthquake-Disaster & Risk Evaluation and Management Center, National Central University, Taoyuan 320, Taiwan

Abstract

The 2018 Mw6.4 Hualien earthquake caused a major disaster. Subsequently, the Milun fault Drilling and All-inclusive Sensing (MiDAS) project was initiated and three boreholes were drilled (Borehole A-C). One of the aims of MiDAS is to understand the structure and physical and chemical properties of the Milun fault. In boreholes A and C, the Milun fault zone was recognized at a depth of ~491.05 m to 540.30 m, consisting mainly of altered Yuli-belt-based rocks and foliated clay-rich gouge layers. Interestingly, a poorly lithified sand-rich interval within the fault zone was encountered at a depth of 522m. As its origin (either volcanic or metamorphic) may constrain the evolution of the fault zone and associated regional structural setting (at this location), we generate altered, poorly lithified sand-rich products and compare with the MiDAS samples to investigate its origin. We perform hydrothermal alteration experiments on samples collected from three candidate sandy strata, including the Tuluanshan Formation (Feldspar-rich sandstone), Fanshuliao Formation (quartz-rich sandstone), and Yuli belt (quartz- and mica-rich sandstone). The samples were immersed in 0.01N dilute sulfuric acid and kept in an oven at 110°C for various periods of time to obtain the altered products. Results showed that the rocks of Tuluanshan Formation was discernibly weathered, while the others were not. So far, some hydrothermal experiments are still going on. We will conduct optical microscopy, Scanning Electron Microscopy, computed tomography, and X-ray Diffraction on the samples to obtain their microstructural features and mineral phases. These results may help to understand how the Milun Fault evolved in this complex structural region.

恆春半島保力溪剖面的露頭

魏聲焜 (中油探採事業部退休)

旨述露頭位於屏東縣車城鄉第五公墓東側的保力溪支流北岸，座標為 $22^{\circ}3'22.97''$ 北、 $120^{\circ}44'8.56''$ 東。距離恆春出火南 22 度東方向約 5.87 公里。根據地調所網站(<https://fault.moeacgs.gov.tw>)公布的照片認為該露頭為階地砂礫堆積層不整合沉積在墾丁層之上，本報告則認為是墾丁層逆衝於階地砂礫堆積層之上，且極可能為與恆春斷層相關之活動斷層。

文獻並未記載恆春斷層的露頭，僅由地形與岩層差異推測斷層位於山麓與平原的交接處。地調所恆春半島圖幅(宋國城，1991)或陳文山等(1985)均以點線表示其為推測的斷層。恆春斷層推測可能為潮州斷層的南延，呈高角度向東傾斜的逆移斷層，斷層可能在紅土礫石層沉積後仍然繼續活動(顏滄波與吳慶餘，1986)。潮州斷層為中央山脈變質岩區與西部沉積岩區的界限斷層，惟因缺乏震測或露頭等資料，無法確認恆春斷層確切位置。

利用 google earth (水平垂直比 1:3) 恆春谷地東緣的線型解釋，有 3 段方向稍異的線型。線型有可能是地層面、解理或斷層所形成，其中斷層常是地下流體、天然氣或泥火山的通道，高雄燕巢一帶的泥火山即是沿旗山斷層分布。恆春出火(天然氣苗)正位於線型經過處，根據台灣中油探研所(2005)的分析資料屬於熱成熟天然氣，顯示此線型極可能延伸至地下深處。

旨述線型構造雖未能證實其為恆春斷層，惟由其極靠近保力溪剖面斷層露頭及終年不熄的熱成熟天然氣苗存在，推論此斷層及線型極可能與恆春斷層關係密切，或可供未來相關研究者的重要參考。(魏聲焜，20230303)

中文關鍵字： 墾丁層，恆春斷層，恆春出火，熱成熟天然氣。



使用支援向量機(SVM)分類器來識別油氣水層

吳泓昱^{1*}、朱威達²、楊晴晴²、葉宥霆¹、陳瑞強¹、王志文³、葉庭瑜³

¹ 國立成功大學資源工程學系，台南，台灣

² 國立成功大學資訊工程學系，台南，台灣

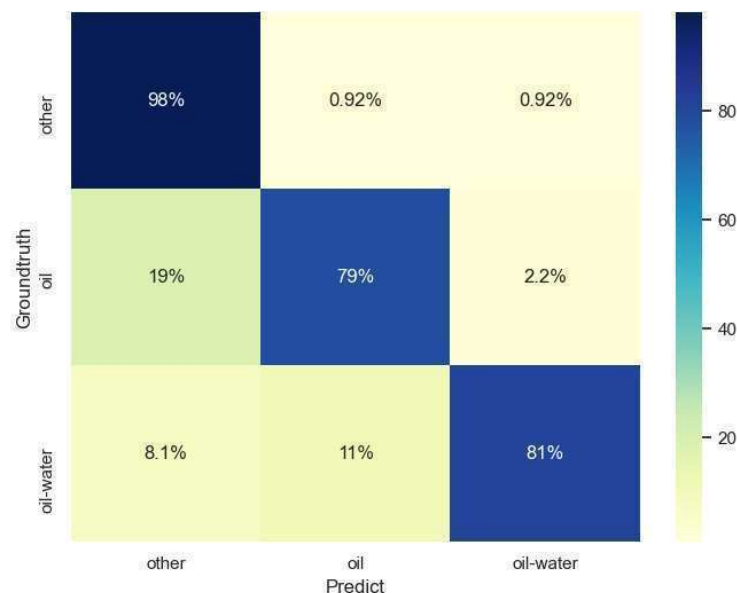
³ 台灣中油探採研究所，台灣

E-mail: 10902004@gs.ncku.edu.tw (吳泓昱*)

摘要

傳統的油層識別是基於對井測數據的解釋和現場的模塊化動態測試儀 (MDT) 值。儲層和地層的不同物理特性以及不同地層之間井測值的差異被用於人工識別。人工判斷的局限性在於，薄油層信號容易被忽略。另外，對 MDT 測試範圍的關注較少，因此油層存在的準確性是有疑慮的。作為儲層識別的基礎，人工智能技術被用來改善常規井測分析中可能被遺漏或不能有效識別的結果。在這項研究中，隨機森林 (RF) 方法針對單井中井測種類的重要性選擇。然後用支持向量機 (SVM) 方法對重要特徵進行選擇和訓練，以預測不同層的特徵。我們提出這種混合方法，結合 RF 和迭代 SVM 對井測曲線進行分類，以檢測潛在的油/氣層。結果表明，本研究建立的模型能夠成功地模擬和預測油氣層的可能深度，與 DST/MDT 報告中的油氣層深度一致，而且井測數據的辨識率提高了對油氣層厚度的準確判斷。對整個井測段的模擬結果進行更多的對比表明，這種迭代 SVM 可以成功判斷油層和油水層深度，與 DST 相比，機器學習預測結果的準確率可以達到 80%-90%。在對各結構油層的剖面進行綜合分析後，該分類器可以利用井測數據識別薄油層，為生產井的油氣藏提供有效的價值資訊。

關鍵詞：人工智慧；支援向量機(SVM)；電測；資源探勘；層位辨識；儲集層



打造一個貨真價實的綠島—台灣零碳社區的典範

王 祈¹ 盧乙嘉² 宋聖榮¹

¹ 國立台灣大學地質科學系 ² 國立中央大學應用地質所

The game plan for reaching the carbon-zero community of Taiwan: case study of Green Island

Chyi Wang¹ Yi-Chia Lu² Sheng-Rong Song¹

¹ Department of Geosciences, National Taiwan University

² Graduate Institute of Applied Geology, National Central University

摘 要

在近年全球淨零碳排與永續發展議題的高度關注下，國家能源轉型政策的調整與再出發，除了持續推動光能與風能的建構以外，自去年起將加速地熱能、氫能與海洋能的發展，在在需要學界對於相關科技的精進，與社會產業的共同努力，從打造低碳家園著手，為實現 2050 以後的零碳台灣作多面向的中長期佈局。整體經濟產業的轉型需要社會大眾共同的認知與行動來支持，綠色能源供應是為經濟轉型的重要基礎，率先建構一個成功的綠色社區可作為達成目標的重要可行性指標，也是邁向無碳台灣願景的重要里程碑。

台灣位處於歐亞板塊和菲律賓海板塊相互擠壓的活動地帶，火山與地震活動頻繁，具有高度的地熱資源開發潛力。面積 15 平方公里的綠島是位於台灣東南近海的火山島，常住居民約四千人左右，有一著名的濱海溫泉，以觀光和漁業為主，這樣一個相對閉合的獨立環境提供了良好的實驗場景。全島的電力目前依靠台電的 11MW 柴油發電機組供應，如此的能源需求以地熱為主的再生能源作為電能供應來源在綠島是高度可行的。根據台電「綠島地熱發電實驗機組計畫」，完成 2MW 的地熱電廠應無太大問題，日後逐步擴充，以及其他再生能源的加持之下，不但自給自足的低碳電力供應指日可待，零碳綠島也將不再只是口號。

在地熱探勘方面，可依據現有地熱相關之地質調查及大地電磁探測等資料所建構之地熱地質概念模型，以及綠島在人口結構/地勢/交通/產業等的人文及環境分析，利用有利探勘標的法及層級分析法來進行最佳地熱井位的篩選，輔以其他適合之再生能源選項作為供應面向的可能方案。在未來的需求成長面向上，依據政府公告之各類用電數據顯示綠島近年來在人口結構/地勢/交通/產業等之用電消耗量分配及趨勢，以及所產生之碳排放量為依據，綜合各類再生能源在綠島當地建構的可行性及其產生的供電效能與減低碳排放的效益，可建構在綠島對於達成低碳(無碳)社區的可行路徑，作為地方單位地熱能源發展的具體藍圖。

關鍵字：再生能源、地熱應用、地熱探勘、零碳社會、綠島

山腳斷層於台北盆地地層液壓變化下的斷層滑動潛勢模擬

李健豪¹、吳泓昱²

(1)國立成功大學

摘要

本研究是針對台北的山腳斷層附近注水工程對於該斷層的影響模擬，利用蒙地卡羅法(Monte Carlo method)進行分析，計算出可能造成斷層重新活動的孔隙壓力範圍，並同時分析其注水期間的斷層滑動潛勢(Fault Slip Potential, FSP)變化量。注水井不管在地熱開採以及碳封存等地質工程領域皆為重要的一環，然而過量的注水可能會造成當地地層結構受到破壞，加上台灣的地質結構相比於歐美較為鬆散，種種原因都可能造成地層重新活動而引發大量地震，因此做好完善的風險評估是一件極為重要的事。為了能夠利用大量數據進行模擬，本研究利用的統計學中的蒙地卡羅法(Monte Carlo method)，將斷層資料、水文地質資料、注水量、三軸應力等參數結合，並對資料進行多次的迭代，期望能夠盡可能的模擬出注水後的實際情況，以利未來進行類似工程時能夠有十足的把握利用該分析方法進行預先的風險評估。

研究方式為設定好適當的斷層資料、水文地質資料、注水量、三軸應力後，利用電腦計算後得出的斷層莫爾圓及莫爾—庫倫理論(Mohr Coulomb theory)中的臨界破裂線，分析注水多久後斷層的莫爾圓會到達臨界破裂線，並藉由過程中的斷層滑動潛勢(Fault slip potential, FSP)變化，探討山腳斷層注水後的情形以及停止注水後回復穩定狀態所需的時間長度。透過完整的統計方式，本研究的結果就能夠做為未來在進行注水工程時預先風險評估的參考依據。

關鍵詞:山腳斷層、蒙地卡羅法、孔隙壓力、斷層滑動潛勢、注水井、莫爾—庫倫理論。

Analysis of fossil resins using Micro-FTIR within a heating stage

Yen-Yu Chen, Wen-Pin Hsieh, Ying-Ju Chang

Abstract

This study aims to analyze the thermal history of fossil resins from different localities. We use Micro Fourier-transform infrared spectroscopy (FTIR) combined with the THMS600 heating stage to quantify the abundance of chemical functional groups. Organic matter, chemical and physical interaction, and time lead to the complexity of chemical functional groups, so we use FTIR, a sensitive, high-resolution, and non-destructive analytical technique, which is suitable for organic material.

The results show that the FTIR spectra of fossil resins contain intense aliphatic C-H stretching vibration in 2960 cm^{-1} , 2925 cm^{-1} , and 2850 cm^{-1} regions, the C-H (CH₃) scissoring vibration at 1470 cm^{-1} , and C=C aromatic ring stretching vibration at 1640 cm^{-1} . We found that the ratio of C-H stretching (2925 cm^{-1} , 2850 cm^{-1}) and C=O stretching (1700 cm^{-1}) show similar ratios in the same locality of fossil resins. Using the following factors OAFH: $(\text{CH}_2(\text{H}) + \text{CH}_3(\text{H})) / (\text{CH}_2(\text{H}) + \text{CH}_3(\text{H}) + \text{CH}_3(\text{L}) + \text{CH}_2(\text{L}) + (\text{C}=\text{C}) + (\text{C}=\text{O}))$; OAFO: $\text{O}(\text{C}=\text{O}) / (\text{CH}_2(\text{H}) + \text{CH}_3(\text{H}) + \text{CH}_3(\text{L}) + \text{CH}_2(\text{L}) + (\text{C}=\text{C}) + (\text{C}=\text{O}))$ will obtain different results in different locality of resin.

Our study provides a rapid identification method for the botanical origin analysis of fossil resins and their thermal history. The heating stage can simulate the thermal environment of fossil resins, and we use FTIR and OAF factors to divide copal, amber, and rosins. We can observe that the unilinear trends in OAFH and OAFO discontinue when the temperature rises, which can be applied to divide copal or amber and to measure their highest environmental temperatures.

Keywords Amber, copal, fossil rosins micro-FTIR, Heating stage, Functional groups

The Holocene Evolution of the Chihshang Creeping Fault-line Scarp in Tapo Elementary School Area, Eastern Taiwan

Owen Huang, Mohammad Tri Fitrianto, Chien-Chih Chen, Ping-Yu Chang, I-Chi Yen, Maryline Le Béon, Shih-Ting Lu

Abstract

The precise position and geometry of a fault and the recognition of contemporary active strands are pivotal elements for formulating regulations for earthquake fault zones and fault setbacks. The western frontal escarpment toe of the coastal range in Tapo, eastern Taiwan is commonly considered as the plausible location of the N18°E-trending and east-dipping Chihshang creeping fault. The frontal collapse and flattening of reverse faulting coexisting with fluviation and landslide complicated defining the Chihshang fault configuration. We use a multidisciplinary approach, combining site investigation, geology core analysis and correlation, resistivity prospecting, and inclinometer monitoring, to illuminate the subsurface structure and deformation of the leading edge of the Chihshang fault at the site of Tapo elementary school, eastern Taiwan. Based on an integrated result from an inverted-resistivity model and rock cores, the high resistivity domain ($>30 \Omega\text{-m}$) to the west was corresponded with the alluvium deposits, while the low resistivity domain ($<10 \Omega\text{-m}$) to the east was corresponded with the mudstone of Lichi mélangé. The Chihshang main fault was found as the contact of these two lithologic units with a dip angle of approximately 77° within the resistivity gradation zone 55 meters east of the toe of morphologic escarpment. The inclinometer implemented in a borehole recorded active displacement on this fault contact and its branches. Mélangé-related material with an irregular, non-sheared texture, was distributed near the surface, from the fault tip to the escarpment toe, and interpreted as likely resulting from landsliding. A mechanism of faulting-relay landsliding is proposed to reason the active deformation on the escarpment.

利用高解析度數值高程模型精進海岸山脈北段構造幾何

徐育誠¹、詹瑜璋²、陳致同¹、孫正璋^{2,3}、謝有忠⁴

(1)國立中央大學地球科學系、(2)中央研究院地球科學研究所、(3)國立臺灣大學地質科學系、
(4)經濟部中央地質調查所

摘要

過去野外調查的結果認為海岸山脈秀姑巒溪以北的區域地質構造主要受褶皺與斷層控制。然傳統野外調查方法的限制使資料分布不均，可能會使這些構造在野外證據不足的情況下而難以確認構造的延續性及其性質，尤其在海岸山脈植被茂密與部分地區地形陡峭難以到達的情形下使野外調查工作受到巨大的挑戰，也因此造成海岸山脈地質構造在不同文獻中基於野外調查結果而有不同見解。

近年光達(Light Detection and Ranging, LiDAR)技術的成熟，能夠提供大區域公尺等級高解析度且無植被的數值高程模型(Digital Elevation Model, DEM)。以高解析度DEM判釋代表岩層地線型可提供較密集的位態資料。本研究以海岸山脈秀姑巒溪以北為例，首先在三維工作環境下對DEM進行岩層線型的判釋，以線型的連續性討論是否有區域尺度的構造經過的可能性以及解析其構造幾何，包括斷層與褶皺的幾何形貌以及不同岩體地層單元間的相互關係。

本研究提供平均百公尺密度的岩層位態，解析海岸山脈北段精細的地質構造：八里灣層普遍以低角度的關係交角不整合於蕃薯寮層之上；八里灣層內的褶皺包含奇美向斜以及鹽寮向斜的幾何有別於蕃薯寮層內的一系列的褶皺與斷層，並可依這些構造間的相交情形區分為不同的構造；奇美向斜依照褶皺的開闊度與傾沒方向變化由北至南可分為五段。本研究成功在海岸山脈北段判釋密集且均勻分布的位態資料，且判釋成果可以提供連續地層資訊並討論不連續面的性質，改善傳統野外調查限制下推測的地質構造，以提供進一步區域地質討論的可能性。

關鍵字：海岸山脈、構造幾何、數值高程模型

利用地質剖面探討初鄉活動斷層構造特性

張中威¹、黃文正^{1,2}、黃琮琦¹

(1) 國立中央大學 應用地質研究所、(2) 國立中央大學 地球科學系

摘要

初鄉斷層位於台灣西部麓山帶車籠埔斷層與雙冬斷層之間，呈東北-西南走向的活動斷層，西南側併入車籠埔斷層，東北側向雙冬斷層延伸。1999年台灣中部的集集地震，車籠埔斷層沿線形成約100公里的地表破裂，根據同震地表GPS資料顯示，跨初鄉斷層的地表同震位移方向有顯著差異，然而未有報導指出初鄉斷層跡沿線有同震的地表破裂或相對變形。根據台灣機率式地震危害度分析，指出初鄉斷層在未來50年內有高達37%的機率發生規模6的地震。

為了解初鄉斷層再活動風險，建立合理的初鄉斷層構造模型至關重要，然而，過往研究對於初鄉斷層的幾何形貌有所爭議，前人認為在濁水溪有深度約9至10公里的底滑脫面，但在幾何上難與車籠埔斷層連接。本研究蒐集前人地質圖資、地質鑽探及震測資料，參考前人的構造模型、集集地震同震GPS位移向量及地震資料，由北而南建立五條東西向的地質剖面，觀察初鄉斷層與相鄰構造的關係，亦進行構造演化與平衡剖面，了解地層在空間中的地層厚度變化以及區域構造的彼此關係。

根據本研究結果，初鄉斷層調適大尖山斷層與車籠埔斷層間的幾何差異，與車籠埔斷層相連接於深度約9至10公里的底滑脫面；底滑脫面於濁水溪以北深度約5-6公里，濁水溪以南變深至約9-10公里，兩者間有側向的斷坡。

臺灣西南部車瓜林斷層之斷層岩石及變形機制

莊承家¹、黃文正^{1,2}、郭力維²、陳新翰¹

(1)國立中央大學 應用地質研究所、(2)國立中央大學 地球科學學系

摘要

車瓜林斷層主要分布在厚層泥岩所組成的古亭坑層中，泥岩區地形容易受沖刷侵蝕快速改變，無法利用地形變化推測斷層跡的分布，然而野外調查發現斷層作用可使泥岩產狀發生改變並出露於露頭。在中視尺度下車瓜林斷層露頭進行觀察的發現，斷層岩內具有數公厘到一、兩公分寬的黑色條帶，本研究在斷層露頭及斷層岩心中採取圍岩、斷層岩樣本並利用微組構觀察、礦物組成分析及同步 X 光繞射，探討車瓜林斷層的變形機制。

微組構觀察顯示斷層岩內具有 S-C 構造；黑色條帶內部礦物顆粒產生破碎、變形，礦物顆粒長軸沿黑色條帶方向產生順向排列，黏土礦物沿 S、C 及 C' 面產生順向排列，石英粒徑在黑色條帶中產生細化，顯示黑色條帶為岩體中的變形帶，主要透過摩擦滑動(frictional sliding)並伴隨碎裂作用(cataclasis)產生，因此黑色條帶的寬度及密集程度可作為斷層岩變形程度的指標。

全岩礦物組成分析顯示，在變形程度較高的斷層岩中黏土礦物的含量也相對較高，而伊萊石結晶度降低。黏土礦物組成分析顯示斷層帶內有岩水反應發生；圍岩及斷層岩的 EI 值變化不明顯，顯示斷層帶內並沒有透過礦物相變所產生的伊萊石；同步 X 光分析指出黑色條帶內有非晶質材料的存在。

本研究認為黑色條帶中的非晶質材料在斷層作用下透過碎屑細化產生，而黏土礦物在細化轉變為非晶質材料時脫水，使斷層帶內產生流體並引發岩水反應，而岩水反應可以將石英溶解消耗使黏土礦物相對含量增加，也能與非晶質材料反應生成膨潤石。

S-C 構造發育及黏土礦物含量相對增加都會造成岩體摩擦係數降低，因此斷層作用的變形主要集中在黑色破碎泥岩出現的位置。而非晶質材料的存在顯示斷層作用引發的非晶質化正持續發生，可能與大地測量所揭示車瓜林斷層的潛移活動有關。

關鍵字：車瓜林斷層、活動斷層、潛移斷層、非晶質材料、微組構、礦物組成、變形機制

台灣地殼均衡初探

Preliminary Investigation of Isostasy in Taiwan Region

羅祐宗 顏宏元

台灣位於板塊碰撞帶上地震活動頻繁，受到了複雜的構造變形和地殼運動的影響，進行地殼均衡研究可以深入瞭解這些變形和運動對台灣地區的構造和地形的影響。本研究利用二維及三維速度模型得到之莫荷深度作為觀測到的地殼厚度，依據 Airy 和 Pratt 的假說及布蓋重力異常值來檢驗和說明其均衡狀態。預期能對台灣的造山模式有更深入的探討，了解台灣的地殼均衡對於全球地殼變動和構造演化的研究都有一定的貢獻。

**Preliminary results of the geological mapping of the
newly exposed surface after glaciers retreat in
Kaffiøyra, western Spitsbergen.**

Fang-Yu Tsai¹、Slawomir Jack Giletycz¹、Ireneusz Sobota²

(1) National Central University, Department of Earth Sciences, Zhongli, Taiwan、(2)
Nicolaus Copernicus University, Department of Earth Sciences, Torun, Poland

Abstract

Svalbard archipelago is located between eastern Greenland and the northwestern Barents Sea Shelf between 74° to 81°N and 10° to 35°E. This archipelago is on the boundary of the Eurasian plate and the North American plate and belongs to the High-Arctic region, which is characterized by glaciers and permafrost coverage. The geological history of Svalbard reaches Neoproterozoic and continuously evolves into Neogene and present times. Due to global warming, the glacier retreat in Svalbard reaches the highest rates in recorded history and in some places, it is reported to show up to 100 meters per year. However, due to this retreat, vast areas are being exposed to unexplored geological formations which outcrops that can be measured and surveyed.

In this study, we focus on the area between glacier Aavatsmark and glacier Waldemar in northern Kaffiøyra, western Svalbard. This area characterizes a complex of fault zones that belong to the eastern boundary of the Forlandsundet Graben that was created in the Eureka Orogeny. Our field investigation during the expedition in August 2022, showed that this zone is also characterized by dextral and sinistral components that support transpressional and transtensional movements between Svalbard and Greenland reported in previous studies. Our fault zone analysis were measured in-situ and supported by the UAS (Unmanned Aerial System) missions that aided to construct detailed geological maps of this area.

The main goal of this research is to build a tectonic and geological model of the deformation zone along this boundary and understand the evolution of the deformation during the development of the Forlandsundet Graben.

Intraplate magmatism in northern Gondwana and its potential link to end-Ordovician mass extinction

Kwan-Nang Pang^{1*}, Mehraj Aghazadeh², J. Gregory Shellnutt³, Hao-Yang Lee¹

(1) Institute of Earth Sciences, Academia Sinica, Taipei 11529, Taiwan ·

(2) Department of Geology, Payame Noor University, Iran ·

(3) Department of Earth Sciences, National Taiwan Normal University, Taipei, Taiwan

Abstract

The end-Ordovician mass extinction was one of the five major mass extinction events in the Phanerozoic, yet a contemporaneous large igneous province that might have triggered extinction is largely obscured. Here, we present zircon U-Pb age and geochemical data to show that volcanic rocks from Mevli, NW Iran might be remnants of a large igneous province that erupted in the Late Ordovician. The Mevli volcanic succession consists of >500 m-thick basaltic rocks and >700 m-thick rhyolitic rocks as massive lavas, agglomerates, tuffs, dykes and sills formed over a variably metamorphosed, Neoproterozoic platform sequence, hinting high magma volume and magma flux. LA-ICP-MS zircon U-Pb dating of one representative rhyolite yields a mean age at 445.6 ± 4.8 Ma, and of another at 449.7 ± 4.4 Ma. The basaltic rocks are alkaline, displaying high Ti/Y and fractionated REE patterns ($La/Yb \sim 8-17$), features that are similar to high-Ti basalts commonly found in large igneous provinces. The rhyolitic rocks show high SiO₂ (~74-78 wt.%), fractionation between light and middle REE with negative Eu anomaly, and negative Ba, Sr and Ti anomalies in mantle-normalized trace element diagram. These features are generally similar to silicic magmas of A-type affinity. The above geochemical features, together with field evidence, indicate that the volcanic rocks formed in an intra-continental setting. During the Late Ordovician, the northern margin of Gondwana where the Iranian terranes once occur was in proximity with the southeastern edge of the African LLSVP. Thus, we posit that the Mevli volcanic succession might be remnants of a large igneous province that formed in the Late Ordovician but was subsequently destroyed during Tethyan orogeny. This poorly preserved large igneous province might be related to the two pulses of end-Ordovician mass extinction in the Hirnantian.

Petrogenetic significance of Eocene appinitic intrusions and coeval alkaline syenites from Sardasht, Sanandaj–Sirjan Zone, NW Iran

M.P. Manu Prasanth¹、Kwan-Nang Pang¹

(1) Institute of Earth Sciences, Academia Sinica, Nangang, Taipei, Taiwan-115

Abstract

Appinitic suites are characterized by voluminous idiomorphic hornblende-bearing rocks which are generally crystallized from anomalously water-rich magmas. The occurrence of appinites and coeval granitic batholiths provides a unique opportunity to evaluate the significance of volatiles in mantle melts and crust-mantle interaction. We evaluated the appinitic intrusive units and coeval syenites in the Sardasht, northwestern part of Sanandaj–Sirjan Zone, Iran to characterize the nature of metasomatic lithospheric mantle and possible recycled crustal components in the mantle source. The Secondary Ion Microprobe U-Pb baddeleyite ages in syenites indicate mid-Eocene (ca. 40Ma) emplacement ages. The age-corrected Nd isotopes ($\epsilon_{\text{Nd}t} = +4.1$ to $+8.1$), Initial Sr ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_i = 0.70295\text{-}0.70382$), Pb ($^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 18.4\text{-}18.6$) isotope systematics and Nb-Ta, Zr-Hf anomalies in the primitive mantle normalized diagrams are consistent with post-subduction rifting related to Neotethys slab break-off. The alkaline syenite pluton associated with the appinitic suite exhibit high K_2O (4.2-5.6 wt%), rare earth elements (particularly LREE), large ion lithophile elements (LILIE), and relatively low HFSE. Isotopically they are characterized by similar Initial Sr ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_i = 0.70295\text{-}0.70529$), $\epsilon_{\text{Nd}t}$ (+4.3 to +4.7) and Pb ($^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 18.4\text{-}18.6$) isotopes, implying syenite-appinite associations can be correlated petrogenetically. Partial melting of the hydrated mantle with influences of Early to Middle Eocene Neotethys slab subduction underneath the Sanandaj–Sirjan Zone had a significant role in the formation of Appinitic rocks with alkaline syenites.

Early Cretaceous volcanic-arc magmatism in the Dalat-Kratie Fold Belt of eastern Cambodia: implications for the lithotectonic evolution of the Indochina terrane

J. Gregory Shellnutt^{1}, George S.-K. Ma², Jacky S.-L. Chan³, Jean P.-M. Wong³, and Kuo-Lung Wang⁴*

¹*National Taiwan Normal University, Department of Earth Sciences, 88 Tingzhou Road Section 4, Taipei 11677, Taiwan*

²*The Chinese University of Hong Kong, Jockey Club Museum of Climate Change, Shatin, NT, Hong Kong SAR*

³*ProjecTerra, Flat D, 4/F, Kin Ga Industrial Building, Tuen Mun, Hong Kong SAR*

⁴*The University of Hong Kong, Department of Earth Sciences, Pokfulam Road, Hong Kong, Hong Kong SAR*

⁵*Academia Sinica, Institute of Earth Sciences, 128 Academia Road Section 2, Taipei 11529, Taiwan*

*Correspondence: J. Gregory Shellnutt, jgshelln@ntnu.edu.tw

Mesozoic granitic plutons are found throughout the Indochina terrane of eastern Cambodia and southern Vietnam. The granitic rocks range in age from Early Triassic (240 Ma) to Late Cretaceous (80 Ma) and record distinct tectonomagmatic periods associated with subduction of the Paleotethys and Paleo-Pacific oceans. Samples collected from the Snoul pluton, eastern Cambodia are composed of silicic and intermediate dioritic rocks, and basalt. The quartz diorites and diorites are magnesian, metaluminous, calcic to calc-alkalic, and similar to volcanic-arc granitoids whereas the basaltic rocks are compositionally similar to within-plate basalt. Zircon U-Pb geochronology and Lu-Hf isotopes and whole rock Sr-Nd isotopes show that the silicic rocks are Albian and isotopically juvenile (107.5 ± 0.3 Ma, 109.1 ± 0.4 Ma; $\varepsilon_{\text{Hf}}(t) = +7.0$ – $+17.0$; $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_i = 0.704313$ – 0.707681 ; $\varepsilon_{\text{Nd}}(t) = +3.1$ – $+4.9$). Fractional crystallization modeling using a dioritic composition as the parental magma demonstrates that it is possible to generate the quartz diorite compositions under oxidizing ($\Delta\text{FMQ} +1$) and hydrous ($\text{H}_2\text{O} = 2$ wt%) conditions suggesting that they are consanguineous. The isotopically juvenile nature of the dioritic rocks and their compositional similarity ($\text{SiO}_2 \geq 56$ wt%, $\text{Al}_2\text{O}_3 \geq 15$ wt%, $\text{Sr} \geq 400$ ppm, $\text{Y} \leq 18$ ppm, $\text{Yb} \leq 1.9$ ppm) to adakitic rocks indicates that the parental magmas of the Snoul pluton were likely derived by partial melting of juvenile mafic basement rocks of the Indochina terrane. Moreover, Early Cretaceous plutonic rocks of Cambodia are isotopically distinct from plutonic rocks of similar age and tectonic setting from Vietnam suggesting that there could be a lithotectonic domain boundary within the Southern Indochina terrane. In contrast, the basaltic rocks likely record a temporally distinct period of magmatism associated with Late Cenozoic tensional plate stress.

Keywords: Early Cretaceous, Indochina Block, volcanic-arc granite, mafic enclaves, Dalat-Kratie Belt

從岩石熱變質紀錄初探越南西北部大地構造

Tectonics of northwestern Vietnam: insights from thermal metamorphic constraints

陳致同，阮氏金庸，阮氏秋河，丁氏惠

Chih-Tung Chen, Nguyen Thi Kim Dung, Nguyen Thi Thu Ha, Dinh Thi Hue

中央大學地球科學系

Earth Sciences Department, National Central University

越南西北部地區多山且構造複雜，出露有變形的前寒武至中生代的岩層，並有紅河斷裂、奠邊府斷裂等活動斷層，長期為學界探究青藏高原造山系統擴展的焦點區域之一。然而在晚新生代喜山期造山變形之前，此地區曾經歷中生代印支期構造運動；因此，中生代以前的岩石紀錄的釐清是探討喜山期作用的前提條件。越南西北部出露的沉積岩中，侏羅系以上皆為未變質陸相紅層，而早於晚三疊系者多呈現不同程度的變質與葉理發育，可知印支運動的重要性。然而除了紅河斷裂帶與馬河縫合帶內的小範圍分布之高度變質岩體受到詳細分析研究外，上述三疊系以前之變質沉積岩層皆缺乏變質約制。本研究於此地區整合野外調查、顯微構造、碳物質拉曼光譜法地質溫度計的紀錄分析，以各區域之初步岩石歷史，嘗試解析印支運動的隱沒方向、岩層隱沒深埋情況、主要斷層構造等增積造山楔關鍵性質。結果顯示，越南西北部的印支期造山運動與台灣造山帶中，變質沉積岩皆是山脈增積體的主要組成，並經由增積楔底部加積作用貢獻了大量的地殼增厚，指示了底脫斷層等主要構造的多變與複雜性。

關鍵字：岩石熱歷史，增積造山楔，碳物質地質溫度計，越南北部，印支運動

Zircon U-Pb geochronology and tectonic implications of the Mae Ping shear zone, NW Thailand

Yu-Ling Lin^{1*}、Tung-Yi Lee¹、Hao-Yang Lee²、Long Xiang Quek¹、
Yoshiyuki Iizuka²、Punya Charusiri³

(1) Department of Earth Sciences, National Taiwan Normal University, Taipei, Taiwan、(2) Institute of Earth Sciences, Academia Sinica, Taipei, Taiwan、(3) Department of Geology, Faculty of Science, Chulalongkorn University, Bangkok, Thailand

Abstract

The Mae Ping shear zone (MPSZ) is one of the major shear zones in Thailand. It had displaced the Triassic-Jurassic granitoid and gneiss belt left-laterally, which was thought to have assisted the Cenozoic extrusion tectonics. Around the Lan Sang National Park, high-grade gneiss, mylonite, cataclasite, leucogranite, and minor undeformed magmatic rocks of the MPSZ were exposed along the highway. An Eocene sheared granodiorite has been recognized as syn-shearing intrusion inside the shear zone, but its cause and distribution remain poorly understood. This study applied zircon U-Pb geochronology across the MPSZ systematically to clarify its magmatic history. In paragneiss, metamorphic zircon rims overgrew at ~200 Ma which should be the timing of gneiss formation induced by the Paleo-Tethys closure. Zircons of sheared granodiorite and orthogneiss have subhedral shapes with oscillatory zoning and reveal two major magmatic events emplaced around 200 and 45-32 Ma (most Th/U>0.2). Since these samples had been sheared left-laterally, the left-lateral motion of MPSZ should have terminated after 32 Ma. Eocene intrusions also have been found elsewhere along the Sibumasu terrane, including the Ailao Shan-Red River shear zone, the Doi Inthanon, the Three Pagodas shear zone, the Klaeng fault, the Ranong shear zone, and the Khlong Marui shear zone. This indicates the activation of these shear zones may relate to the occurrence of Eocene intrusions. Moreover, the spatial and temporal distribution of Eocene intrusions along the Sibumasu terrane supports the possibility that Neo-Tethyan slab shallowing had induced inward migration of magmatism in the overriding plate.

The post-Late Mesozoic tectonic evolution of the North Mogok metamorphic belt (MMB) along with Neo-Tethys revealed by the stagnation of the migmatite complex

Yu Ping Chiu¹, Meng Wan Yeh^{1*}, J. Gregory Shellnutt¹, Tong Yee Lee¹, Sun-Lin Chung², Yoshiyuki Iizuka²

1 Department of Earth Sciences, National Taiwan Normal University, Taipei, Taiwan

2 Institute of Earth Sciences, Academia Sinica, Taipei, Taiwan

Abstract

Migmatites are widespread throughout the northern Mogok metamorphic belt (MMB) within the southern Tengchong block, west Yunnan, China. The migmatite connects the process of crustal reworking and petrological diversity in the middle crust. The inversion tectonics accompanying high-grade metamorphism recorded subsequent separation of melt and residue along different tectonic stages of the MMB at the mid-crustal level. A suite of amphibolite, granodiorite, gneiss, and leucogranite in the vicinity of Donghe pluton in the southern Tengchong block are examined with petrological and geochemical analyses. Our U-Pb dating results from the leucogranitic gneiss (06CG20) indicated a sedimentary origin from the Cretaceous granites (124 Ma and 73 Ma) that later became an S-type granite during 65 Ma, followed by sillimanite-graded migmatization of Mogok metamorphic belt during 45-40 Ma. Our reconstructed thermal chronological history revealed a slow cooling path from ca. 900 °C at 65 Ma to 750°C at 53 Ma and then stabilized between 750-700 °C during 53 ~35 Ma. The formation of 65 Ma magmatism is considered due to the subduction of the Neo-Tethys slab. The migmatization occurred post 65 Ma till 40 Ma along the development of Donghe detachment by crustal thinning and mantle upwelling as the Neo-Tethys slab rolled back and broken off. The Donghe detachment was reactivated as a thrust system between 35 and 25 Ma as the greater India collided with the Tengchong block. The key to crustal rework is those tectonics inverted from extensional detachment to thrust during the

口頭論文宣讀

中華民國地球物理學會與中華民國地質學會112年暨學術研討會 CR-0-227
CR - 25 years of CREATE: the known, unknown and breakthroughs 亞洲地體構造演化整合研究

Eocene, leading to the sediments weathered from subduction-related magmatic rock undergoing remelting and differentiation, making the Tengchong block transform from an island arc to a metamorphic rock basement (MMB).

The drainage capture of the paleo-Red River established present-day configuration of the Yangtze River since the Early Oligocene

Minh Thi Thanh Pham, Tung-Yi Lee, Yu-Ling Lin, Xiao-Jun Peng, Meng-Wan Yeh
Department of Earth Sciences, National Taiwan Normal University

Abstract

The unique geomorphic configuration of the large drainage systems in eastern Tibet led to the hypothesis that the Upper-Yangtze River once served as a major tributary of the paleo-Red River. To test this hypothesis, we investigated zircon U-Pb ages of the pre-Upper Miocene sedimentary rock preserved in the Yen Bain Basin located in the Red River's midstream and compared them with those of Paleogene formations from the Jianchuan and Gonjo Basins, located in downstream and upstream of the Upper Yangtze River, respectively. If the connection ever existed, the similarities in age distributions should be documented. Our investigation shows a wide range of the U-Pb ages, reflecting the diverse sources for the sediments. The majority of zircon grains are relatively small in size and have rounded corners, implying the distant sources for the Yen Bai Basin's sediments. A strong affinity is observed between the Yen Bai, Jianchuan, and Gonjo Basins, confirming the connection of the Upper Yangtze-Red Rivers before the Early Oligocene. The tectonic uplift of the Tibetan Plateau and the early stage of crustal thickening in the Yunlong Mountain in the northeast of the Jianchuan Basin starting in the Late Eocene are likely to have impacted the reorganization of major rivers. These triggered river capture of the paleo-Red River, the Upper-Yangtze River bent eastward and merge with the Middle-Yangtze in the east, establishing the modern geometry of the Yangtze River.

Keywords: Detrital Zircon U-Pb Dating, Drainage Capture, paleo-Red River, Yangtze River.

Seismic velocity structures of the lowermost mantle determined by automated data processing for Pdiff and SHdiff waves郝文哲¹ 黃信樺¹ 柯彥廷² 洪淑蕙³ Frédéric Deschamps¹¹ 中央研究院 地球科學研究所² 國立臺灣大學 海洋研究所³ 國立臺灣大學 地質科學系暨研究所

The long-period nature of core-diffracted Pdiff and SHdiff waves is presumably sensitive to the average velocity perturbations of the lowermost mantle, and the upper mantle to some extent. We analyze the Pdiff waves at four dominant period 10 s, 15 s, 21 s, and 30 s, and SHdiff waves at six dominant period 10 s, 15 s, 21 s, 30 s, 42 s, and 60 s, with each dominant period increment of $\sqrt{2}$. Our data include 3839 earthquakes recorded by more than 8,000 seismic stations in total in the epicentral distance range of 92–145°. An automated data-processing method is presented. The 3839 earthquakes are selected from the SCARDEC earthquake database which include well-resolved source time function $S(t)$ (Vallée and Douet, 2016), and each selected event possesses a source duration < 40 s. The Green's function $G(t)$ for each source–station path is derived from the method of the AxiSEM (Nissen-Meyer et al., 2014) and Instaseis (van Driel et al., 2015; Krischer et al., 2017) based on 2 s precision transversely isotropic PREM model, given the source coordinate, gCMT, and station coordinate. The convolution of $G(t)$ and $S(t)$, denoted as $U(t)$, indicates the synthetics that takes into account the effect of source rupture. The cross-correlation between $U(t)$ and the observed data $D(t)$ provides the absolute travel time residual dt relative to the PREM. This automated processing yields ~ 1.09 million dt for Pdiff and ~ 1.11 million dt measurements for SHdiff waves that satisfy the threshold of cross-correlation coefficient > 0.8 and signal-to-noise ratio > 7 . The peak-to-peak dt values are ± 8 s for Pdiff, and ± 15 s for SHdiff waves, respectively. Compared to Pdiff, the distribution of dt of SHdiff waves show a degree 2 pattern, with a strong, positive $dt > 10$ s concentrated in the LLSVP (Large low shear-velocity provinces) beneath Africa, the south Indian Ocean, and the central Pacific.

利用接收函數方法探討台灣地殼構造

紀宗志¹、張永孚²、黃柏壽¹

(1)中央研究院地球科學研究所、(2)國立中正大學地球與環境科學系

摘要

台灣位於菲律賓海板塊與歐亞板塊的弧陸碰撞帶上，地體構造相當特殊和複雜，研究台灣的地殼構造能幫助了解板塊碰撞過程的演變。為了探討台灣地區的地殼結構，本研究將利用接收函數方法分析三組不同尺度的地震站陣列。當震波傳播經過有明顯阻抗差異的構造界面時，會產生轉換波(converted wave)波，接收函數(receiver function)方法是透過分析震波的轉換波來研究地下構造，透過觀察到之轉換波和直達波的走時(travel time)差和振幅值，可以推算地殼中產生轉換波的界面位置。第一組是利用台北盆地區域內小範圍的寬頻地震站，透過接收函數和Common Conversion Point (CCP) 疊加方法，探討台北盆地下方的莫荷面深度。第二組為分析大範圍的兩條線性陣列寬頻地震站資料，利用接收函數法和CCP疊加方法，使用二維的方式成像台灣北部下方的莫荷面變化。第三組是利用中研院地球所在南台灣南橫地區設置的線性陣列測站，分析南部莫荷面變化。

根據CCP疊加結果，台北盆地下方莫荷面變化平緩，深度約為26-28公里；在北台灣西部的莫荷面深度平坦，深度約30公里；中央山脈下方的莫荷面深度約55公里；在台灣東部，琉球島弧地殼的莫荷面深度約為40公里。南北向的剖面結果顯示，在台灣中央的山區下方15-20公里處有一脆韌過渡帶。台灣莫荷面深度從北向南加深，最深的莫荷面是位於兩條測線交界處下方的菲律賓海板塊，深度60公里。根據我們的結果，以歐亞板塊和菲律賓海板塊的碰撞邊界為界，邊界以西板塊沒有受到擠壓而產生變形，莫荷面平坦且所有的變形僅於地表。邊界以東菲律賓海板塊向東擠壓到歐亞板塊下方形成山根，因為碰撞擠壓使整個岩石圈產生變形。

關鍵字:接收函數、莫荷面、轉換波、台灣地殼構造、CCP疊加

Keywords: receiver function、converted wave、CCP stacking、Moho、crustal structure of Taiwan

遠震全波形反演與隱沒系統成像的應用

Developments on the teleseismic full waveform inversion and its application to subduction systems

Li-Yu Kan¹, Sébastien Chevrot¹, Vadim Monteiller²

1. Géosciences Environment Toulouse, Observatoire Midi-Pyrénées, CNRS UMR 5563, Université Paul Sabatier, Toulouse, France
2. Aix Marseille University, CNRS, Centrale Marseille, LMA UMR 7031, Marseille 13453, France

Thanks to the densification of seismic deployments and the advances in high-performance computing, full waveform inversion (FWI) of teleseismic waves at the regional scale is now feasible. Indeed, teleseismic FWI provides quantitative multi-parameter tomographic models such as density and seismic velocities, with a resolution limit down to half a wavelength. Previous applications of teleseismic FWI have successfully imaged the lithospheric structure of the Pyrenees and the Alps subduction system, however, they still suffered from the different resolution of each model parameter. In this work, we make improvements to the FWI method that allows taking into account the correlation between the model parameters. We consider a complete model covariance matrix whose non-diagonal terms describe the correlation between each pair of model parameters. We first perform synthetic inversion experiments on a simple subduction model to validate the new algorithm. As a result, with this new approach, we can obtain better-reconstructed models with fewer numerical artifacts. Next, we apply it to teleseismic waveforms recorded by the temporary seismic deployment in Cascadia. The final models in density, V_p , and V_s reveal the lithospheric structures with unprecedented resolution. We successfully image the thin low-velocity layer associated with the Juan de Fuca plate. Below 40 km depth, seismic velocities and density increase progressively to the values of a typical mantle, which corresponds to the eclogitization of the oceanic crust. The improved FWI method is able to provide high-resolution tomographic models on a lithospheric scale, as highlighted by both the synthetic experiment and real-data application. This is particularly important for complicated subduction systems that involve the processes such as serpentinization, eclogitization, and partial melting.

關鍵字: 地震層析成像、遠震全波形反演、隱沒系統

Keyword: Seismic tomography, Teleseismic full waveform inversion, Subduction system

台灣條件式均值反應譜發展

張毓文¹、汪向榮²

(1) 財團法人國家實驗研究院國家地震工程研究中心、(2) 台灣科技大學營建工程系

摘要

台灣建築物耐震設計規範對於結構耐震設計要求進行非線性動力歷時分析，一般設計時對於輸入歷時要求，是須符合一均布危害度反應譜(UHS)，該反應譜由機率式地震危害度分析求得，為各結構週期之譜加速度值均相符於同一個年超越機率。在現行耐震規範中，設計地震反應譜為475年回歸期，在篩選動力分析用的輸入地震歷時時，通常被用作篩選的目標反應譜。然而，這樣做並不是一個非常合理的方法，因為實際上並無一個地震歷時是每個周期點的譜加速度值都符合475年回歸期。因此，對於某些選定的地面運動，在感興趣的週期範圍以外的譜加速度值可能被過於放大，此現象多發生在短周期範圍。條件式反應譜(CMS)是以主要結構週期之耐震需求值及調整因子(epsilon)為條件，藉由週期間的相關係數模型修正均布危害度反應譜，建立合適目標反應譜，進而能篩選適當的輸入地震歷時，避免主要周期以外的譜加速度值被過於高估。現階段ASCE/SEI 7-16/22建議採用此程序進行地震動歷時的篩選，以求得合理的動力分析結果，同時條件式均值反應譜也被該規範建議可做為設計用反應譜。本研究以台灣豐富的地震資料庫建立台灣的相關係數模型，提供台灣的CMS，以協助耐震設計用之需求，提供反映台灣記錄的地震動特徵的地震歷時，提升動力分析結果之可信度。

台灣的垂直地震動非線性場址效應與對規範修訂 的影響與建議

趙書賢¹、郭俊翔^{1,2}、林哲民¹、黃雋彥¹、許喬筑¹、張志偉¹、張毓文¹

(1)國家地震工程研究中心、(2)國立中央大學

摘要

美國太平洋地震工程研究中心於執行美西新一代地震動預估式開發計畫第二期時，共開發了四個垂直地震動預估式。相較於水平地震動預估式，各研究分析垂直地震動資料的過程並未發現顯著的非線性場址效應，因各研究皆假定垂直地震動由P波主控，而P波行經土層時並不會造成土壤顯著的變形而引致消能，也因此上述各研究皆認為垂直地震動並不存在，或存在不顯著近可忽略之非線性場址效應。國震中心趙書賢等人亦利用台灣的地震動觀測紀錄開發適用於台灣的水平與垂直地震動預估式，近期發表之適用於台灣的水平與垂直地震動預估式，指出台灣的垂直地震動資料亦存在與水平地震動相同顯著的非線性場址效應，且兩者存在高度相關性，即代表當水平地震動發生非線性場址效應時，垂直地震動亦會發生。由於上述的發現與國外的研究並不相符，因此有必要進一步深入的探討台灣垂直地震動會發生非線性場址效應的可能原因。本研究先彙整台灣地震動資料的S波到時與P波到時資訊，並分析各地震動歷時的垂直地表加速度峰值，與不同結構週期垂直加速度反應的峰值發生於P波段或是S波段。由分析結果可以發現不論是垂直地表加速度的峰值，或是不同結構週期垂直反應的峰值，大部分都發生於S波段，尤其長週期結構垂直反應發生於S波段的的比例最高，代表台灣的垂直地震動主要由S波主控，而非P波。由於S波於土層傳遞會讓土層受剪力變形而引致遲滯消能，此分析結果提供了垂直地震動產生與水平地震動程度一致之非線性場址效應的可能原因。本研究也將探討此垂直向地震動非線性場址效應的本土特性對建築物耐震設計規範中垂直地震力的影響，提供未來該條文修訂的建議與參考。

Near-Fault Velocity Pulses Simulated by Stochastic Finite-Fault Simulation Method of the 2022 Taitung, Taiwan Earthquake Sequence

Jyun-Yan Huang¹, Che-Min Lin¹, and Shu-Hsien Chao¹

(1) National Center for Research on Earthquake Engineering, Taiwan

Abstract

On 17th Sep., 2022, a Mw 6.55 earthquake occurred firstly in southeastern Taiwan and was identified as one of the important disaster foreshocks of the Mw 7.0 mainshock event occurred on the next day (18th Sep., 2022) issued by the Central Weather Bureau of Taiwan. Both of the earthquakes in the 2022 Taitung, Taiwan earthquake sequence caused severe damages near-fault such as total collapse of old bridges, total collapse of a 3-story building and severe damages of several building structures within the Huadong Longitudinal Valley. Several velocity pulses were observed by near-fault strong motion stations near those damaged structures. The velocity pulses were extracted from the procedure of Shahi and Baker (2014) that observed pulse periods were identified as approximately 1.2 - 4.2 s for eight stations of a rupture distance within 7 km. We performed a procedure to simulate velocity pulses by incorporating the stochastic Green's function method with finite-fault process (Boore, 2009), the empirical transfer function method (ETF, Huang et al., 2017) for each site to represent linear site response and a moving random asperity model (Huang et al., 2022, preprint under review) to evaluate most contributed asperity location for simulating near-fault velocity pulses. The results indicating a good similarity of simulated non-filtered velocity time history and extracted velocity pulses compared to observed waveforms. The pulse periods could be captured by the proposed simulation procedure in a reasonable range which covers the observed ones. This means main velocity pulse were mainly controlled by asperity size and location on fault but not sensitive to the random phase setting of point source stochastic method on the first place. The proposed procedure could be used for near-fault evaluation of future possible large earthquake validated by the case study of the 2022 Taitung, Taiwan earthquake sequences showed in this study.

臺灣規範近斷層設計地震之應用探討

劉勛仁

國家地震工程研究中心助理研究員

摘要

我國最新修正之「建築物耐震設計規範及解說」正式於2022年10月1日起實施，此次在耐震設計反應譜的修訂，主要著重於近斷層工址，有兩大重點如下。(1)增列指定活動斷層：配合2012年版中央地質調查所公告之活動斷層分布圖，增列的第一類活動斷層有新城斷層、三義斷層、大甲斷層、鐵砧山斷層、彰化斷層、大茅埔-雙冬斷層、六甲斷層與旗山斷層共8條，花東縱谷序列斷層則增列嶺頂斷層、瑞穗斷層、鹿野斷層與利吉斷層共4條。斷層跡線須採用最新之2021年版活動斷層位置。(2)調整近斷層設計係數：改為依斷層距離以線性內插求取近斷層區域之震區譜加速度係數(S_S^D 、 S_1^D 、 S_S^M 、 S_1^M)。並要求若工址鄰近兩條或以上之活動斷層，須分別計算其近斷層震區係數，再分別取各參數之最大值設計。

面對上述的修訂事項，近斷層設計地震在實務應用上，常遇有多處困擾。例如，以近斷層震區係數最大值建立的設計反應譜，是可完全包絡(enveloping)所有鄰近斷層的短、中、長週期段譜值，惟對極短週期段譜值則不全然。再者，求取近斷層震區係數的過程，困擾點有：取得數化斷層跡線、計算工址至鄰近斷層之最短距離、判識短週期與一秒週期之控制斷層等。更進一步地，進行動力非線性分析時，如何取得與規範設計反應譜形狀相近且具速度脈衝特性之多筆實測地震歷時。

為解決前述課題，本研究對於近斷層工址之包絡設計反應譜，提出一套反應譜極短週期與短週期分界之轉換週期計算方法，其可完全涵蓋所有鄰近斷層的極短週期段譜值。對於新制規範的近斷層設計反應譜，可利用作者開發之「臺灣建築物耐震設計反應譜查詢平台」(Sederes, <https://seaport.ncree.org/sederes>)，便捷地取得詳細工址設計地震參數。對於欲執行動力非線性分析之近斷層工址，亦可使用作者開發之「臺灣工址輸入地震查選平台」(INMOST, <https://seaport.ncree.org/inmost>)，快速查找符合規範要求之多筆實測地震歷時。Sederes與INMOST提供的統合且穩定的公開服務，可有效應用在工程實務與學術研究。

關鍵字：建築物耐震設計規範、近斷層設計地震、包絡反應譜、Sederes、INMOST

Dynamic characteristics of TAIPEI 101: From monitoring to prediction of ambient vibration

Yaochieh Chen (陳耀傑)^{1,2}, Philippe Guéguen², Bor-Shouh Huang³, Chin-Jen Lin³, Win-Gee Huang³, Chin-Shang Ku³, Yi-hung Liu⁴, Kate Huihsuan Chen²

(1) Department of Earth Sciences, National Taiwan Normal University, Taiwan · (2) ISTERre, Universitaire de Grenoble, Grenoble 38000, France · (3) Department of Earth Sciences, Academia Sinica, Taiwan · (3) Department of Mechanical Engineering, National Taiwan Technology University, Taiwan

Abstract

Continuous data streams from translational and rotational seismometers installed in TAIPEI 101 enable monitoring of the natural frequencies on different time scales. Using the 2014 seismic data recorded on the 90th floor of this high-rise building and the meteorological data from a weather station located just 1 km away, we explored the characteristics and controlling factors of the ambient vibrations in TAIPEI 101. Using the random decrement technique, the three modal frequencies in translation were identified as 0.15 Hz (F1), 0.43 Hz (F2), and 0.78 Hz (F3). For rotation around the vertical axis, the modal frequencies were 0.23 Hz (R1), 0.59 Hz (R2), and 0.93 Hz (R3). In translation, TAIPEI 101 exhibits a trend of increasing modal frequency with increasing temperature but decreasing modal frequency with increasing wind velocity. The trend with temperature is reversed in rotation motion. The different frequency versus temperature relationship seen for rotational and translational motion demonstrates the importance of introducing rotational motion analysis into structural health monitoring. The change in modal frequencies were also found to reduce with growing amplitude. It is intriguing that F1 exhibits a weaker dependency with amplitude with respect to the higher modes, which may be associated with the suppression of F1 vibration due to the damper installed in TAIPEI 101. Other than long-term (seasonable) variation, we also highlight the hourly variation of the first mode amplitude throughout a day by comparing with weather and mobility data. Other than the atmospheric conditions that strongly influence the modal frequencies in long-term behavior, we found that the human activities may play an important role in the short-term vibration characteristics of the building.

Please note the information in the bottom of abstract if you choose to attend to “the Students’ Poster Competition”.

(1) National Taiwan Normal University/Kate Huihsuan Chen
(2) PhD candidate/ 6th year
(3) yaochieh77@gmail.com

臺灣裸子植物大型化石之紀錄與研究現況

羅元伯¹、胡哲明^{1,2}

(1) 國立臺灣大學生態學與演化生物學研究所

(2) 國立臺灣大學植物標本館(TAI)

摘要

裸子植物自古生代晚期便開始出現在地球，並持續演化至今，而在臺灣植物相的組成中亦是特別的存在。現行分類研究中，臺灣原生之裸子植物約30種，其中五至六成為特有種或特有變種，這也明確反映出裸子植物在臺之演化歷程應有各種值得探討的議題。

從臺灣的化石紀錄中來看，孢粉證據顯示裸子植物自第四紀更新世已近乎與臺灣現生類群相同；而在更早期的新近紀則是有相當多臺灣目前未分布或可能已滅絕的物種。與孢粉相比，臺灣大型植物化石的相關發表相當少且零散，雖然自日治時期便有相關紀錄，但明確物種形態及標本描述的文獻卻要從1968年才開始出現，這意味著目前階段藉過去的研究紀錄暫無法提供太多關於裸子植物的歷程資訊，仍有相當大的發展空間。

本研究整理過去所紀錄之臺灣產大型裸子植物化石重要文獻並延伸探討，加上近期新發現處理之標本與發表，介紹臺灣目前針對本類群之研究現況，以提供未來臺灣在古植被及古環境還原重建之幫助。

Ages for Mesozoic key evolutionary events in East Asia

Su-Chin Chang, HKU

Various body and trace fossils have been discovered in East Asia, making it critical to understanding major evolutionary events in Earth's history. Most Triassic marine reptiles known from global localities have been recovered from South China deposits. Insect fossils from North China provide a complete picture of how the rapid diversification of aquatic insects had already begun by the Middle Triassic. By the end of the Triassic Period, another mass extinction event occurred, but its causes remain cryptic. Many large land animals went extinct, but the dinosaurs went through, allowing them to evolve into various forms and dominate the terrestrial ecosystems. Documented dinosaur fossils and tracks have facilitated a better understanding of the evolutionary history of dinosaurs and allowed for the evaluation of biogeographic hypotheses regarding the distribution of middle-late Mesozoic vertebrate fossils. Well-preserved feathered dinosaurs have improved our understanding of the transition between the non-avian theropod dinosaur and bird. Plant fossils continuously discovered since the late 20th century from this region have advanced our knowledge of the origin and early diversification of flowering plants and further provided evidence for plant-insect dynamic relationships. In the past 12 years, my research team based at the University of Hong Kong has applied U-Pb and ⁴⁰Ar/³⁹Ar radio-isotopic dating techniques to refine the dates and durations of several key Mesozoic evolutionary events in East Asia. During this presentation, I will review and contextualize two major advances in these areas, including 1) the high-precision ages for the Jehol fossils from the classic and less-studied outcrops, and 2) the early emergence of flowering plants. My work will demonstrate interdisciplinary collaborations among geochronologists, geologists, and paleontologists in evaluating critical questions in Earth's history.

New AMS radiocarbon and $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{18}\text{O}$ isotope data on *Palaeoloxodon* from India: Implications for megafaunal extinctions

Rajeev Patnaik^a, Jih-Pai Lin^b, Hong-Chun Li^b, Khursheed A. Parray^c, G.M. Bhat^d and Deepak Choudhary^a

^aDepartment of Geology, Panjab University, Chandigarh 160014, India

^bDepartment of Geosciences, National Taiwan University, No. 1, Sec. 4, Roosevelt Road, Taipei, Taiwan.

^cDepartment of Geology, Sri Pratap College, Srinagar 190001, India

^dDepartment of Geology, University of Jammu, Jammu, J&K, India, 190006.

Abstract

Late Quaternary megafaunal extinction in the Indian subcontinent has received a renewed thrust by several researchers in recent years. Till date four global megafaunal species-level extinctions have been identified in India during the Late Pleistocene. These include: *Palaeoloxodon namadicus*, *Stegodon* sp., *Hexaprotodon* sp. and likely *Equus namadicus*. However, there is still a lot of confusion since a robust taxonomic, chronological and palaeoecological framework is lacking for these and other species. In this background we present here new direct AMS radiocarbon date of 8150 yr BP for *Palaeoloxodon namadicus* from Narmada Valley and 2398 yr BP for ?*Elephas/Palaeoloxodon* from the Karewas of Kashmir. Our results indicate that *Palaeoloxodon* definitely persisted into the Holocene, contrary to earlier belief that the only elephant in the Holocene of Asia was *Elephas maximus*. Our new stable carbon and oxygen isotope data on tooth enamel of *Palaeoloxodon turkmenicus* and cf. *Sinomastodon* combined with previous isotope results from modern elephant *Elephas maximus*, *Palaeoloxodon namadicus* and ?*Elephas/Palaeoloxodon* reveal a diverse diet and the possibility of existence of more than one species of *Palaeoloxodon* in India during the Pleistocene. *Palaeoloxodon namadicus* from central Narmada Valley was a grazer and lived in a grassland under very dry condition, while *Palaeoloxodon turkmenicus* and ?*Elephas/Palaeoloxodon* were browsing in the woodland under wet conditions in the Karewas of Kashmir. The contemporary gomphotheres cf. *Sinomastodon* was a grazer under wet conditions.

Impact of changes in sample surface topography caused by sample desiccation during scanning and storage on Itrax XRF core scanner signals

Naveed Hassan^{1,2}, **Ludvig Lowmark** *,¹, **Alice Chien-Yi Liao**¹

* Corresponding Author

¹: Department of Geosciences, National Taiwan University, Taipei, Taiwan

²: Quality Assurance Development, Peoples Steel Mills Ltd. Karachi, Pakistan

Abstract

Sediment samples tend to dry out during storage and are therefore stored, refrigerated at about 4°C after wrapping in plastic foil. During scanning however, the samples must be taken out of their cover, increasing the risk of drying and the formation of desiccation cracks on the surface. Because scan times can often amount to several hours and at highest resolution it may take over a day to complete, the core will progressively dry out during scanning. With this study we aim to increase our understanding of how this slow drying of the samples during scanning and storage influences the XRF signal because of changes in water content, sediment surface topography, and the development of small, but slowly expanding cracks in the sediment sample. The results show that the desiccation of samples during scanning and storage influence the XRF measurements in several ways. Slow desiccation leads to a general lowering of the sediment surface, shrinking of the core, making it shorter, and thereby shift layers. Larger distance between sediment surface and detector leads to increased noise levels and poor reproducibility for many elements.

Key Words: ITRAX, XRF, Core Scanner, Sediments, Desiccation, Surface cracks, Topography

用科學發掘臺南人文與環境古今事

Scientific evidences reveal the human-environment interactions in Tainan

楊小青

國立臺灣史前文化博物館

摘要

由於臺南海岸平原位居前緣斷層西側，具有下陷的地質環境，而發源於阿里山地區的曾文溪，河流沉積物以砂質為主，且平原區的地下水質呈弱鹼性，這些特質有利於文物及骨骼組織的保存，使考古學者可以從繁星點點的史前遺址，清楚認識台南史前文化的發展。基於臺南具有前述獨一無二的地理位置、地質條件與歷史地位，可說是認識台灣土地與生命的最佳起點。因此本文將利用平原區鑽探岩心的古環境分析及相關定年資料，結合花粉分析及底棲有孔蟲等相關研究成果，配合考古發掘重建的史前文化史，探討 5000 年前當第一批移民來到臺南平原，引進初級農業及內容豐富的海洋文化，在 3300 年前普遍發展黑陶文化到 1800 年前開始使用外來的鐵器及玻璃器，最後因為臺南豐富的農產與自然資產，成為大航海時代東亞貿易的一環，種種人類文明發展歷程與環境變遷之關聯性。

以考古鑽探重建南科特定區古沉積環境

吳柏霖¹、周書屹²、張益生¹、羅立³、吳泓昱⁴、朱正宜¹、郁靜慧¹

(1) 庶古文創事業股份有限公司、(2) 臺南市文化資產管理處臺南考古中心、

(3) 國立台灣大學地質科學系、(4) 國立成功大學資源工程學系

摘要

南科特定區位於台南市南部科學園區外圍，可細分為西北側特定區及東側特定區兩部分，根據前人的考古研究調查，本區發現大量的史前遺址，臺南市文化資產管理處為降低南科特定區開發過程中遭遇史前遺址的風險，針對特定區西北側（A、B、C、D、E區）及東側（N、O）範圍，進行660孔岩芯鑽探作業，包含深度100公尺岩芯4孔、50公尺岩芯9孔、25公尺岩心4孔、20公尺岩心4孔，以及15公尺岩心639孔，共計10,615公尺。本研究希望藉由鑽井結果，重建南科特定區的古沉積環境，了解環境與遺址分布之關聯。

西北特定區之地層大致可分為三段，上段為氾濫平原相，多為土壤化之泥層夾粉砂層；中段為河道砂相，砂層厚度由北往南漸減；下段為沼澤濕地相，為土壤化之泥質與粉砂質互層，常見含炭層、生物擾動與鈣質結核等交替出現。東側特定區之地層大致可分為兩段，上段為氾濫平原相，為土壤化之泥質粉砂質沉積物所組成；下段為河道相，沉積物粒徑變化大，除了塊狀砂層外，可觀察到波痕、平行層理、交錯層理等沉積構造，也可見含炭層、泥塊、圓礫等分布其中。

本研究鑽探發現之遺留分布大致可區分為已知遺址之延伸和新疑似遺址兩大類，已知遺址之延伸共八處，新疑似遺址共十處。研究結果顯示十八處遺留多分布於氾濫平原環境，而研究範圍內，氾濫平原相之地層上部縱使覆蓋河道砂層，大多範圍小、厚度薄，代表本區域之環境已較穩定，適合史前人類、乃至近代漢人活動，鮮少大範圍河流改道或大規模洪氾事件，使得這些遺留能被保留下來。

中國長白山金川濕地近千年來之植物群與氣候變遷

方君而¹、李紅春²、汪良奇¹

¹ 國立中正大學地球與環境科學系、² 國立臺灣大學地質科學系

摘要

金川濕地位於中國東北吉林省金川鎮，海拔 615 公尺，屬長白山系龍崗山脈。龍崗山脈的火山活動於晚更新世、全新世時相當活躍。此區植群隨海拔變化，2100 m 以上為苔原、1800~2100 m 為亞高山灌木、1100~1800 m 為針葉林、1100 m 以下為針闊葉混合林。

本研究採自濕地長 92cm 岩芯中的孢粉，以推知長白山近千年之氣候變遷。沈積物保存的花粉約 53 種，木本植物以 *Pinus*、*Quercus*、*Betula*、*Juglans*、*Ulmus* 為主，草本和蕨類則以 *Cyperaceae*、*Artemisia*、*Chenopodium*、單溝蕨為常見。基於陸生花粉資料群聚分析，將此低海拔林近千年紀錄分為四帶，昔至今簡述如下。

西元 1030~1300 年 (JCA1)，低海拔林花粉量低。針葉樹種 *Pinus* 為優勢木本植物，佔比近 40%，落葉闊葉樹 *Quercus*、*Betula*、*Ulmus* 於此時為全岩芯最低，*Cyperaceae*、*Artemisia*、*Chenopodium* 相對高，反映氣候相對冷乾。

西元 1300~1670 年 (JCA2)，花粉量上升，但一再出現大幅度起伏變化。*Pinus* 降，*Quercus*、*Betula* 相對增加，*Betula* 呈峰谷交替，顯示氣候偏暖外，乾濕條件不穩。而 1430-1460 年木本比例降至最低，草本佔優勢，蕨類降低，氣候變乾。

西元 1670~1960 年 (JCA3)，花粉量、植群組成與前期相似。但 *Cyperaceae* 下降，*Carpinus*、*Corylus*、*Sanguisorba* 增加，推測氣候維持溫暖。

西元 1960~2018 年 (JCA4)，花粉量不斷下降，尤在 1960 年時急降。*Pinus* 大減，不及前期的一半，*Quercus*、*Artemisia* 增加。人類活動可能是促使其變化的重要因素。

Keywords：氣候變遷、泥炭地沈積物、花粉鑑定、針闊葉混合林

Intertropical convergence zone movement dynamics controlling the precipitation over the Indo-Australian monsoonal realm for the last 600 kyr

Yogaraj Banerjee¹, Li Lo^{2,3}, Qiuzhen Yin⁴, Chandranath Basak⁵, Chuan-Chou Shen^{1,2}

¹High-Precision Mass Spectrometry and Environment Change Laboratory (HISPEC), Department of Geosciences, National Taiwan University, 10617 Taiwan, ROC

²Research Center for Future Earth, National Taiwan University, 10617 Taiwan, ROC

³Department of Geosciences, National Taiwan University, 10617 Taiwan, ROC

⁴ Earth and Climate Research Center, Earth and Life Institute, Université Catholique de Louvain, Louvain-la-Neuve, Belgium

⁵Department of Earth Sciences, University of Delaware, Newark, USA

Abstract

The intertropical convergence zone (ITCZ) is a belt of deep convective clouds that accounts for a significant proportion of global precipitation and shapes climate and society in the tropics. Small changes in the structure and position of the ITCZ can affect regional precipitation patterns. High-resolution reconstruction of the past position, structure, and migration of ITCZ from paleoclimate archives can shape our understanding of the global climate's evolution and help predict future climate scenarios. Here we present a precipitation record over the Indonesian-Australian monsoon region for the last 600 kyr using planktonic foraminifera *Globigerinoides ruber* (white, *s.s.*) rare earth elements/Ca (REE/Ca) ratios (1 and references therein) of the core MD05-2925 retrieved from northern coastal Papua New Guinea. Previous investigation (2) using the same core had shown the role of the obliquity cycle on the precipitation pattern in the Western Pacific Warm Pool over the last 282,000 years. In this study, we have demonstrated obliquity in tandem with precessional forcings controlling the movement of ITCZ through a “pressure push” mechanism for the last 600 kyr, as suggested by the previous investigation (2). We have documented a dominance of the 100 kyr cycle during the 350-550 kyr time frame and a shift in the baseline of our REE/Ca record, along with an increase in the amplitude around the marine isotope stage 11 event. We have also used Gaussian emulator-based HadCM3 climate simulations (3) to assess the influence of insolation, CO₂, and ice sheets on this regional precipitation record. Results from the model-data comparison for understanding the physical mechanism driving the precipitation pattern will be discussed during the presentation.

References: (1) Martínez-Botí et al. (2009) *G3* 10 (8), p. Q08018 (2) Liu et al. (2015) *Nature Communications* 6(1), 10018; (3) Lyu et al. (2021) *Geophysical Research Letters* 48, e2020GL092005.

Keywords: Intertropical convergence zone, Monsoon, Rare earth element, Obliquity, Precession

The morphological variations of the planktonic foraminifera *Pulleniatina* in the Solomon Sea during the 1.72-2.17 Ma

Jia-Cih Kang^{1,2}, Katsunori Kimoto³, Chien-Yu Lee⁴, Gung-Chian Yin⁴, Pei-Tzu Lee⁴, Shih-Ting Lo⁴, Li Lo^{1,2}

¹Department of Geosciences, National Taiwan University, Taipei, Taiwan

²Laboratory of Paleoceanography, National Taiwan University, Taipei, Taiwan

³Research Institute for Global Change, JAMSTEC, Yokosuka, Japan

⁴National Synchrotron Radiation Research Center

The genus of tropical-subtropical planktonic foraminifera *Pulleniatina* is composed of numerous chambers and covered with a calcite smooth and thick cortex. They can be dated by a few critical planktonic foraminiferal taxa, which provide excellent biostratigraphic markers in the geological past. However, the coiling direction of *Pulleniatina* which may depend on their growth pattern has not been confirmed. Here, we use three-dimensional methods, including synchrotron radiation X-Ray tomographic microscopy (SRXTM) and X-ray micro-computed tomography (XMCT) to reconstruct models of planktonic foraminifera, *Pulleniatina obliquiloculata*, from Early Pleistocene (1.88-2.15 Ma) from ODP Hole 1115B in the western Pacific Ocean. We defined the rotation angle of chambers and the morphospace (the relative distance of the chamber centroid to the coiling axis, D'; the rate of translation down the coiling axis, T'; chamber aspect ratio between chamber height and length, S' and the chamber expansion rate, E') of *Pulleniatina* within the adult stage which would be related to the genetic mutation or external environment variables in early growth. This study aims to provide new insights into the effects of developmental processes on the evolution of planktonic foraminifera.

不定型奈米含鐵及含鈦礦物促進

光催化降解有機碳的機制及應用

許庭維、梁碧清

國立成功大學地球科學所

摘要

碳的生物地球化學循環與全球暖化及氣候變遷有密切關聯，除了化學性質的穩定程度影響其宿命，有機碳與礦物的交互作用也對它們在環境的長期穩定有密切的關係。

在自然界中，鐵常以二價及三價存在，在有水的環境下容易形成短程有序的礦物-水鐵礦，它雖然普遍存在，但是因其結晶度差、排列較無序，難以被傳統的 X 光繞射技術分析。我們大膽假設在過往的研究中，水鐵礦對碳的降解特別是通過光催化作用發生的降解可能被嚴重低估。本研究藉由設計光催化實驗，我們使用不具光催化能力的水鐵礦，並加入奈米級二氧化鈦，測試在不同比例下奈米礦物的光催化能力。首先以 Schwertmann 和 Cornell 在 1991 的方法用沉澱法合成水鐵礦，然後冷凍乾燥，在加入以亞甲基藍染劑作為模型德光催化實驗，實驗採用濃度 20mg/L 的亞甲基藍溶液，催化礦物採用水鐵礦混同不同比例的二氧化鈦為處理，設立二氧化鈦 100% 為參考，測試二氧化鈦以 90%、70%、40%、0% 混同水鐵礦為實驗組，用 UV 光照射，每 30 分鐘測量一次亞甲基藍的剩餘濃度，以檢驗 3 小時不同光催化劑的光催化效果。純相的水鐵礦幾乎不具有光催化能力。結果以不同比例混合二氧化鈦和水鐵礦的奈米礦物處理會比單純二氧化鈦有更好的光催化效果，並以 40%~70% 的二氧化鈦比例為佳。推測是在混同相礦物中，電子在不同的能量的導帶上發生暫時的轉移，延緩了電動回填的速度，從而產生比較多的氫氧自由基和超氧，使得光催化能力增強。後續的抑制實驗也證實了這個假設。推論在天然環境中水鐵礦的被低估的光催化能力可能導致其對碳降解的貢獻被嚴重低估。

關鍵字:水鐵礦(Ferrihydrite)、二氧化鈦、光催化、有機碳降解

網路探究式教學法應用於通識課程「地球科學探索」學習成效之研究
A Study on the Learning Efficiency by Means of WebQuest Teaching Method on the
Liberal Course: “Exploring Earth Science”

李佩倫*

Pei-Lun Lee

國立嘉義大學數位學習設計與管理學系

Department of E-learning Design and Management, National Chiayi University, Chiayi, ROC

*peilun@mail.ncyu.edu.tw

動機與目的

常見傳統的教學模式為「講課、背誦、考試」，此模式往往造成學生學習興趣低落，或無法學以致用，在過往研究者的教學經驗中，能讓學生留下長久記憶及運用所學於日常生活中，由學生自我探究而得的答案會比教師直接解答來得印象深刻。但對於通識課程，學生願意在課後花時間探索的比例不似專業課程，因此，教師更需思考課程活動的安排。近幾年來，PBL、探究式教學漸漸興起，主要是引導學生在實作或解題的過程中，建構自己的知識與觀點，進而產生學習興趣及獲得真實的知識技能。因此，「主動探究」是最主要的核心素養，同時也是一種培養學生創造力的教學模式。然而在實際通識教學上，往往因為學生來自不同學系，地科基礎及學習態度不一的情況下，實施地科專業的問題探索，往往會有組員因個人或學識能力問題，進而影響問題討論之參與度，又可能因組員的思辨能力，無法善用資源或搜尋有用資訊。因此，針對主題的特別教學設計，是在通識課程實施探究式教學很重要的一環。

研究方法與教學設計

WebQuest 教學法是一種在教學上善用網路資源的運用方式，教師引導學生在網路資訊中篩選出可用的資源，進而整合、分析並提出自己的見解，是一種協助學生自主探究以解決問題的學習模式。此模式的優點是學生不會沒有目標地蒐集資料，是一個可協助學生減少盲目感及降低學習挫折的適用方式。

目前在地質領域有許多免費的網路資料庫，如經濟部中央地質調查所建置的「臺灣地質資料整合查詢系統」及「地質雲加值應用平臺」；國家災害防救科技中心建置的「災害潛勢地圖網站」等地質資訊系統，以及許多常用的電子地圖或 Google Earth 的地形分析。因此，本研究利用上述的線上免費資源，加上教師的引導操作及教學，讓學生可以在自然災害單元的課程中，由自行繪製的地質圖，分析地質構造及特性，進而去探討造成特定的主題災害之成因及防災建議，讓學生在探索問題過程中，建立如何使用地質工具（如地質圖判釋、自然現象科學原理、地質資訊系統的操作方法）去解決地質問題，以及建立地質敏感度，在對於地質議題上，可以同時運用地質概念及自己本身的專業素養跨域思考問題解決的方案，以達通識課程的教學目標。

本研究的教學內容主要是以「地質圖的判釋」和「自然災害」二單元的課程，共計四週的教學設計，前二週以個人作業方式學習軟體操作，第三週以小組共同合作完成小林村災情致災原因之專題製作與報告整合，並針對問題提出解答，最後以期中考核作為分析依據之一。

研究結果

利用地質雲網資訊系統，帶領學生製作家鄉地質圖，幾乎所有學生都說是第一次知道自己家鄉的地質構造，且以後買房子一定會先看地質圖，以了解是否有潛在的地質災害。由於是製作跟自己有關的家鄉，所以同學都很認真地學習與製作。而專題製作為「八八水災小林村滅村原因之探討」，內容主題包含「小林村的地質背景分析」、「八八水災特性分析」、「小林村附近地區之地形變遷」、「小林村致災原因探討」及「災後重建或未來減災、避災之建議」。

利用 WebQuest 教學法，由教師事先給予網路相關資源，以及二週之教學引導，學生們均能找出致災之原因，且由教師課堂觀察與分析及評估網路探索教學融入後，學生學習態度與之前各學期之差異變化；分析期中考與之前各學期由教師直接講解之差異變化和學生學習心得之質性分析之結果，顯示本教學設計確可提高學習成效。

工程地質探勘資料庫系統 於地質資料蒐集管理辦法執行上之應用

鄭文昕¹、張閔翔¹、莊釗鳴¹、魏正岳¹、侯進雄¹

(1)經濟部中央地質調查所

摘要

「地質資料蒐集管理辦法」業於103年6月6日（經濟部經地字第10304601960號令）修正發布，凡政府機關、公營事業機構、接受政府補助或獎勵之機構、團體、學校或個人，以及目的事業主管機關等有涉及地質調查者，除須依該法第2條或第3條提交或彙報之地質調查相關書、圖、文件外，同時依該法第5條另須將其產製過程之地質鑽探資料或鑽探報告書，以經濟部中央地質調查所（以下簡稱地調所）工程地質探勘資料庫系統格式辦理提交。因此，工程地質探勘資料庫系統在地質資料蒐集管理辦法執行上扮演著最核心之角色。

工程地質探勘資料庫系統能夠有效地蒐集、管理、保存、分析和應用大量的地質鑽探資料，提供給相關決策人員作為參考和分析的依據。此外，地質資料蒐集管理辦法第5條第2項規定，提交之工程地質探勘資料庫電子檔，應由經中央主管機關認證合格之人員進行資料建置及簽證，因此該系統亦設計針對上傳之工程地質探勘資料庫電子檔進行認證合格人員之姓名與證書編號檢核，如遇證書編號或檢定合格人員非中央主管機關認證合格之情況下，將會自動跳出警示訊息要求輸入正確合格證書編號或人員姓名，提醒提交人員確認後輸入。資料填寫完畢後，點選提交，並記錄系統產生之提交序號，後續可用於案件內容修改；如申請時有填寫申請電子郵件資訊，系統會同時寄送提交序號至提交申請人信箱中，作為提交申請者遺忘提交序號使用。系統檢核完成後，會產生一張提交資料證明單PDF檔，提交人或單位可將該證明單下載列印作為完成提交證明。

實務上，目前很多單已直接在地質調查或鑽探合約中以附加條文方式要求承商要取得完成提交資料證明做為工作最末之一環，將整個提交地質資料工作納入原本既有之施工作業流程內，此作法可謂更有效率而不會額外增加作業負擔。

關鍵詞：工程地質、地質資料蒐集管理辦法

地質敏感區查詢系統自動產製查詢結果之應用面探討

鄭文昕¹、莊釗鳴¹、張閔翔¹、魏正岳¹、侯進雄¹

(1)經濟部中央地質調查所

摘要

在行政作業上，經濟部公告後的地質敏感區範圍圖資會依「地質敏感區劃定變更及廢止辦法」第13條第2項規定，交給地質法地方主管機關，也就是各直轄市、縣市政府，由其進行保管、提供閱覽及範圍查詢案件答復處理。然而，在地質敏感區公告推動初期，受限於各縣市政府並無建置拼接完整的地籍空間資料庫可以使用，為了能夠方便各界查詢考量下，經濟部中央地質調查所推動建置「地質敏感區查詢系統」供外界免費查詢。

如果是要申請土地開發或補辦土地使用合法化，依據開發行為環境影響評估作業準則、非都市土地開發審議作業規範、非都市土地變更編定執行要點、溫泉開發許可辦法、露營場管理要點等規定，地質敏感區範圍應洽詢機關為地質法地方主管機關，即各直轄市、縣市政府。透過該系統查詢功能，提供申請者下載查詢證明單電子檔印出後，交由各直轄市、縣市政府審認轄管土地位置，做為土地變更、環評或土地開發審議所需查詢「是否位於地質敏感區」查詢證明之用，而各直轄市、縣市政府窗口或承辦可透過二維條碼掃描或連結驗證網站輸入已加密之驗證碼字串，可再調閱取出該查詢證明單資料，提供內容比對驗證。上述相關機制設計係用以保障查詢證明單資料之機密性 (Confidentiality)、完整性 (Integrity)、可用性 (Availability) 以及不可否認性 (Non-repudiation)。

需注意的是，目前該資料庫中所使用的土地權利界限資料來源為內政部國土測繪中心，並非由各直轄市、縣市政府直接提供，因此查詢系統仍可能會有查不到各直轄市、縣市政府轄管最新地籍資料的情形，而改善這種情形的方法之一，就資訊技術面而言就是待各直轄市、縣市政府的地籍空間資料庫建置完成後，將權管轄內地質敏感區範圍匯入，由其直接確認土地權利界限與地質敏感區重疊範圍，便可直接解決資訊版本落差問題。

關鍵詞：地質法、地質敏感區、地質敏感區查詢系統、土地開發

解析地質法中的土地開發

林樞衡、張思維、陳柏村、許晉璋、鄭文昕、盧詩丁

地質法自 100 年 12 月 1 日施行至今，是為健全地質調查制度，有效管理國土地質資料並建立國土環境變遷及土地資源管理之基本地質資訊為主要目的之法規，並無禁限建相關規定及土地開發行為的否決權。地質法中與土地開發相關的規定，首先於第 6 條即敘明目的事業主管機關應將地質敏感區相關資料，納入土地利用計畫、土地開發審查、災害防治、環境保育及資源開發之參據。第 8 條則進一步規定，土地開發行為基地位於地質敏感區內即應進行基地地質調查及地質安全評估。「土地開發行為」為地質法專有名詞，其明確定義包含環評、水保、使用分區變更及建照申請等 4 種樣態，其背後皆有相應之相關主管法令。土地開發申請人完成基地地質調查及地質安全評估結果後，依法須併入各項土地開發行為相關法令規定需送審之書圖文件進行審查。

地質法之於土地開發的重要性在於確保土地開發的安全性和保育特殊地質環境，藉由地質法對於主管機關及土地開發者的要求，期能得以減輕土地開發之負面效應並保障長期利益。

關鍵詞：地質法、地質敏感區、土地開發行為

地調所與她的產物

陳柏村¹、陳利貞¹、許晉璋¹、盧詩丁¹、

(1)經濟部中央地質調查所

摘要

您聽過中央地質調查所嗎？你知道中央地質調查所現階段的工作內容嗎？您想了解中央地質調查所現階段的歷史沿革與組織架構嗎？看過本篇文章及海報，能夠幫助您快速了解她喔！

經濟部中央地質調查所（以下簡稱本所）成立於民國67年11月20日，前身為臺灣省地質調查所，職掌全國地質調查工作，建立高科技水準地質調查及有效執行地質法的地質團隊，提供國家之經濟發展、國土開發、資源開發、環境保育及防災地質資訊與專業服務。

地調所為全國唯一從事地質調查之政府機關，設立6個地質業務組室及4個行政支援單位，施政組織配合社會發展脈動適時調整。

地調所的地質調查業務大致劃分成基本地質、資源地質及地質災害等三大方向，含括區域地質、環境與工程、礦產、能源、水文地質、活動斷層、火山、大規模崩塌、山崩、土壤液化等多面向地質調查工作。

因應國家發展需要，經濟部與地調所積極推動地質法的立法，最後於民國99年12月8日總統制定公布，並於100年12月1日施行，自此成為地調所最核心的業務工作之一。

在國人關切的地質災害議題方面，地調所除進行地質調查與劃定、變更地質敏感區外，也會持續就國土進行廣域式的大地觀測，就部份高風險區域進行區域性觀測，並持續引進新技術，提升地質災害的研析能力。活動斷層、土壤液化及火山觀測等地質資料，都已先後納入災防法，山崩資料也已納為科技防災決策平台的重要資訊。

近年來，因應國家綠能發展，地調所也極力投入相關工作，近年來以大幅投入地熱地質調查、離岸風電海域地質調查等相關調查工作，積極參與國家的能源發展方案。

除此之外，區域地質圖的測製、海域礦產資源調查、地質知識的推廣、地質資料的建置維護、地下水地質的調查、地層下陷的研究，都是目前中央地質調查所持續進行的重要工作。

也許您還想更瞭解地調所，您也可以到地調所建置的官網 (<https://www.moeacgs.gov.tw/>)、官方臉書 (<https://www.facebook.com/moeacgs>) 參閱，期待您的了解與參與，並且感謝各位地科圈夥伴們，長久以來對於地調所的支持與鼓勵。。



莫拉克風災遺留的地質紀錄—南橫東段

陳柏村¹、江婉綺¹

(1)經濟部中央地質調查所

摘要

2022年4月30日，時隔13年，台灣南部橫跨中央山脈的重要交通動線-南部橫貫公路-終於通車了！隔天，這個新聞躍上許多媒體的頭條，許多遊客蜂擁前往，除了享受南橫公路帶來的交通便利外，也重新領略南橫沿線雄偉壯闊的地質景觀。也許已經很少人記得，2009年8月8日莫拉克風災的時候，南部橫貫公路究竟發生了何等天災，造成了這13年的空白。本研究將透過莫拉克風災前（2009年1月）、風災後不久（2009年9月）與復通後（2022年7月）之不同時期、相近位置的照片記錄，帶大家了解莫拉克風災帶給南橫東段的沉重傷害，與經過13年之後，殘留在新武呂溪溪畔上的地質遺跡。這些地質露頭除了可以作為天然災害的見證，也可以作為銘記南橫公路復通，工程人員辛苦搶修的見證，謹以本文為此致上最高敬意。

露頭點1：新武橋，新武橋為南橫東段進入山區的第一座大橋，從新武呂溪的右岸跨越新武呂溪主要支流大崙溪，目前的新武橋是在莫拉克風災後改建的，風災當時暴漲的洪水一度漫過舊橋橋面，幸未將舊橋沖毀，有鑒於此，改建的新橋高度較舊橋高了2公尺，更加防洪及耐震。

露頭點2：天龍吊橋，天龍吊橋列為南橫公路八景之一，橫跨新武呂溪，為俯瞰美麗山林溪谷的絕佳之處。當莫拉克風災肆虐將利稻橋沖毀，造成利稻村村民受困無法進出時，天龍吊橋擔負了人員移動、物資運送的關鍵功能。

露頭點3：霧鹿橋，由霧鹿橋上望向新武呂溪下游，河道中有一座突出河床約50公尺的小石山，在莫拉克風災前，溪水的流路是繞著小石山的北側走，但風災帶來大量的土石淤塞住原來的河道，溪水的流路受阻改繞小石山的南側，現在小石山北側形成小規模的階地，是風災留下之顯著的印記。

露頭點4：霧鹿峽谷，霧鹿峽谷約略位於南橫公路之利稻至霧鹿間，新武呂溪切割造成約2公里的V字型峽谷地形，兩側崖壁與河床高低落差最大可達5百餘公尺，風景雄偉壯麗。但在風災後，峽谷中填著滿滿的泥水砂石，河床墊高將近20公尺，峽谷景觀瞬間失色，所幸的是如今溪水重新清澈，氣勢磅礴的峽再現，不同的是，明隧道已橫互於兩側山壁之上，為來往的用路人，提供一絲屏障。

露頭5：利稻橋，利稻橋可說是莫拉克風災造成南橫東段受損最嚴重的橋樑，整個橋體都被沖毀，新橋為2012年變更路線後重建。利稻橋下游河床設有3處攔砂壩，保護橋體的安全，卻因而造成了最下層的攔砂壩下方，形成一個高差約10數公尺之瀑布。多年以後也許這個瀑布會成為新的景點，但是誰又記得她為何而生呢？希望大家能謹記地質災害的驚人威力，謙卑尋求與自然共存的最佳解方。

都會區剪力屋動力分析模式之建立

吳子修¹、黃明偉¹、林佳瑩¹、塗冠婷¹、劉淑燕¹、柯明淳¹

(1)國家災害防救科技中心

摘要

本研究主要目的在於建立都會區剪力屋動力分析模式，利用強地動模擬資料進行示範區地震災害情境模擬，以驗證都會區剪力屋動力分析模式能夠落實應用於社區防災工作。本研究主要內容：

- (1) 採用非線性多自由度剪力模型 (Xiong, 2017)，建置都會區剪力屋動力分析模式。
- (2) 建置不同構造別建物的非線性遲滯模型，以調查不同構造別建物在強地動作用下的非線性動態行為。
- (3) 利用強地動模擬資料進行示範區地震災害情境模擬，驗證都會區剪力屋動力分析模式能夠應用於社區防災工作如規畫避難路線、替代道路等。

關鍵字：剪力屋、遲滯模型、情境模擬

Spatiotemporal Variations in the Hydromechanical Property of Aquifers in Choushui River Alluvial Fan, Taiwan

Ngoc-Thanh-Vu Nguyen¹, Shih-Jung Wang^{1,2}

¹ Graduate Institute of Applied Geology, National Central University, Taiwan

² Department of Earth Sciences, National Central University, Taiwan

Abstract

Land subsidence is a severe geohazard that can result in the loss of water and land resources, infrastructure damage, and economic disruption. The Choushui River Alluvial Fan in Taiwan suffers land subsidence problems because of soil consolidation due to natural and anthropogenic factors. It is necessary to have a comprehensive understanding of the hydromechanical properties that govern the relationship between pore water pressure and deformation in aquifer systems. This study aims to analyze the spatiotemporal changes of the skeleton storage parameters associated with multiple layers to investigate the land subsidence behavior due to groundwater level changes. The storage parameters investigated in this study include the elastic skeletal storage coefficient (S_{ke}) and inelastic skeletal storage coefficient (S_{kv}), which illustrate the rate and potential of land subsidence. The linear regression method was used to estimate the storage parameters from the groundwater level variations and cumulative compression data collected from 38 groundwater wells and 31 multi-layer compaction wells provided by the Water Resources Agency of Taiwan. The relationships between the storage parameters and depth, lithology, and time were also explored. The results show that S_{ke} values exhibit significant seasonal variability, with the highest variations observed in layer 1 (depths from 0 to 57.0 m) and layer 2.1 (depths from 57.0 to 96.0 m). Within the study area, S_{ke} values of range from 1.58×10^{-4} to 9.58×10^{-1} , while S_{kv} values exhibit a consistent average of approximately 3.91×10^{-2} . Additionally, the results reveal significant variations in S_{ke} values with depth, particularly in layers 1 and 2.1 compared to layers 2.2, 3, and 4. This study shows that the hydrogeological storage parameters vary spatiotemporally which can provide the potential assessment of land subsidence in the Choushui River Alluvial Fan of Taiwan.

Keywords: Land subsidence, Elastic skeletal storage coefficient, Inelastic skeletal storage coefficient, Groundwater level variation, Soil compression, Choushui River Alluvial Fan of Taiwan.

淺談變電所用地選址與規劃-以馬稠及東茂變電所選址為例

Hsuan-Wei Huang¹、Hong-Siang Jhuang¹、Chung Huang²

(1) 台灣電力公司營建處、(2) 台灣電力公司綜合研究所

摘要

台灣的輸變電設施密佈，早年已開發及設立許多輸電設施，但很多設施在選址時並沒有考量到所在區域的地質環境等，近年隨著知識及技術進展，變電所及高壓鐵塔選址時，也會考慮多變的地質因子影響，如：地質敏感區等，以期在輸變電設施設立後，能減低災害發生時停電的機率。

本案以兩個變電所選址案例為例，變電所選址及開發時常常先考慮實用性，如：該區要開發一個產業園區，需要極大的用電量，而近年綠電及園區蓬勃發展，西南部亦因此規劃了不少太陽能光電的變電所。我們再根據變電所預定地的位置，去套疊活動斷層及山崩與地滑地質敏感區、易淹水潛勢區、地質圖、土壤液化、地層下陷等地質災害圖資，了解該場址潛在地質災害特性，並作為未來施工所需設計參數之參考。

本案以位於嘉義的馬稠一次配電變電所及新竹的東茂一次配電變電所為例，變電所選址常常受限於用地取得、線路規劃、線路佈設所需範圍等因素，經選定一場址後，方才得以查詢及套疊圖資。馬稠變電所位於全新世沖積層及土壤液化中潛勢區，又查詢國家災害防救中心圖資，一日暴雨650 mm後淹水潛勢深度為0~0.3 m，淹水潛勢較低。而東茂變電所則位於更新世楊梅層照鏡段，也位於一西北傾向邊坡之坡趾處，由位態研判該邊坡為逆向坡，且其未位於土壤液化潛勢區、地質敏感區及易淹水潛勢區等範圍內。

中文關鍵字：變電所選址，地質災害，地質敏感區，淹水潛勢

Keywords: Substation site, Geological hazard, Geological sensitive area, Potential flooding area

離岸風電開發環境地質及工程技術分析-臺灣西部海床地質特性

黃文正^{1,2}、莊承家¹、陳冠宇³、李奕亨³、李唯寧³、郭士賢³、蔡賢儒³

(1)國立中央大學 應用地質研究所、(2)國立中央大學 地球科學學系、(3)工業技術研究院

摘要

臺灣自 104 年開始實行離岸風電場的規劃建設，風場場址主要位於臺灣西部海域水深不超過 50 公尺區域，風機基礎主要採取單樁基礎(Monopile)，基樁設置以打擊貫入為主；初期借重歐洲北海及波羅地海離岸風場規劃建設經驗，然而臺灣西部近岸風場海床以沉積物覆蓋為主，與歐洲北海、波羅地海以岩盤為主的海床有所差異，而在彰化外海 40 至 50 公里處所規劃的風場場址則位於前陸盆地前緣，使風機基樁安裝時的風險及難度增加，如基樁打設中產生滑樁、未達預定深度即遭遇堅硬玄武岩盤，說明了解海床地質特性對風機基礎安裝有重要的影響性；本研究初步利用前人以震測、岩心資料所建立的西部海域沉積地層層續研究，利用 ArcGIS 將風場場址及前陸盆地等深圖進行比對，顯示在台中、彰化外海的風場場址均位於前陸盆地前緣，西南側部分位置沉積物厚度不足 100 公尺，在此區域以打擊方式設置基礎可能會遭遇無法貫入的玄武岩盤；而近岸地層以頭嵛山層為主，土質較為鬆軟使設置基礎時可能引發海底地滑產生滑樁，須配合更精細的場址調查如反射震測、土壤液化潛勢分析以確定基礎設置處的海床穩定性。

關鍵字：離岸風電、海床地質特性

臺灣土壤液化回顧與防治 Review and prevention of soil liquefaction in Taiwan

王聖宗¹、蘇泰維¹、邱禎龍¹

(1)經濟部中央地質調查所

摘要

臺灣位處於板塊邊界上，地震頻繁，土壤液化為地震常見的天然地質災害之一，特別是在西部平原地區多是由厚層的年輕沖積層所覆蓋於表面地層，加上高地下水水位特性，就容易在大地震來臨時誘發出土壤液化。

回顧臺灣自有地震紀錄以來，即可見有土壤液化事件的相關報導，為了詳加瞭解過往歷史事件，本研究蒐集了過去臺灣土壤液化的位置紀錄，並特別就近年來的大地震事件，如集集大地震、美濃地震、花蓮地震、桃源地震及去年的池上地震等，進行資料盤點與彙整。

為了防治土壤液化災害發生，地盤改良是為重要且有效的方法之一，它能透過人工的方式，去排除地盤中潛在的觸發因子，進而達到防治的目的，並期望透過本研究的探討，提升社會大眾對土壤液化的防災思維。

中文關鍵字：土壤液化、地盤改良

Keywords: soil liquefaction, ground improvement

庫倫滑移模式之裂隙剪力位移量分布模擬

鍾智承、陳麒任

行政院原子能委員會核能研究所(jerrygood100@iner.gov.tw)

摘要

庫倫滑移模式為內建於3DEC中的裂隙滑移模式，包含剪力破壞、張力破壞，以及剪脹作用的評估跟計算。整體而言，在尚未達到破壞前，裂隙面上的剪應力與剪力位移量呈正比。當有效正向應力增加，達到破壞所需的剪力位移量及剪應力也越大。另一方面，有效正向應力增加，剪力位移所造成的剪脹量則會減少。本研究採用庫倫滑移模式分析裂隙位移量在裂隙面上的分布情況，並與解析解及文獻成果進行比對，探討應用數值模擬軟體執行相關研究時的潛在問題。另外，研究過程中亦使用不同的力學參數進行測試，分析力學參數對於裂隙位移量分布的影響。

初步的研究成果顯示數值解與解析解及文獻成果雖未完全一致，但皆呈現裂隙中心的位移量較高，裂隙端點位移量最低的趨勢。且在數值解中，提高裂隙摩擦角會造成裂隙位移量的顯著降低。

關鍵字：數值模擬、庫倫滑移模式、裂隙位移量

南沖繩海槽棉花火山熱液煙囪之礦物組成與資源潛能隱示

Mineral Compositions and Potential Resource Implication of
Mienhua Volcano Hydrothermal Chimneys in the South Okinawa Trough

徐達偉¹、蘇志杰¹、江威德²、林玉詩³、吳炫賦¹、許鳳心¹、陳松春⁴、王詠絢⁴
(1)臺灣大學海洋研究所、(2)國立成功大學地球科學系、(3)國立中山大學海洋科學系、(4)經濟部中央地質調查所

摘 要

南沖繩海槽棉花火山地區為顯著之熱液活動場址，利用水下無人載具於 LGD-2104 航次，在水深約 1380 公尺海底發現兩個活躍熱液煙囪，依據煙囪外型分別命名為魔王煙囪和鬼馬煙囪，此二煙囪相距僅數公尺，卻有迥異之礦物組成。利用採獲的煙囪礦石進行 X 光繞射、電子顯微分析、以及主要和微量元素分析。魔王煙囪礦石以重晶石為主體，含銀礦物種類多，存在於硫銻銀鉛礦、銻銀鉛礦、方鉛礦、膠狀組織黃鐵礦等礦物，多為中晚期熱液成礦產物，成礦溫度相對較低，可能為 <300 °C，暗示有較高程度海水涉及熱液循環和沈澱。鬼馬煙囪礦石以磁黃鐵礦、閃鋅礦/閃鐵礦、方鉛礦、方鐵黃銅礦為主要組成礦物，僅在煙囪管壁外側有少量雄黃和輝銻礦，強烈反映早期熱液沈澱產物，成礦溫度為 370–400 °C，相較於魔王煙囪，鬼馬煙囪礦石缺乏含銀礦物，銀與金含量亦較低。魔王煙囪和鬼馬煙囪的多樣性礦化現象，可能與近海床發生的相分離作用有關；此外，根據兩煙囪的礦物組成和貴金屬含量，推測棉花火山熱液場址在以中晚期熱液沈澱為主之硫化金屬礦石測站，含銀礦物以及整體礦石含銀量具有較高的潛能。

臺灣北部金山磺港溫泉鐵質沉澱物之礦物學分析

陳君榮¹、洪國騰¹、劉厚均³

(1)國立自然科學博物館地質學組、

(2)經濟部中央地質調查所區域地質組、

(3)成功大學地球科學系

摘 要

新北市金山區磺港公共浴室溫泉於2017年開鑿新井，湧出含鐵氯化物硫酸鹽泉(pH值為5.6)，並於流經之處沉澱大量黃色沉澱物。X光繞射及電子顯微鏡分析結果顯示沉澱物之主要礦物組成為二線水鐵礦，大多生成為次微米之晶粒，具有近圓球狀外形。感應耦合電漿分析顯示二線水鐵礦富含矽，並含有微量重金屬如砷、錳及鋅。水鐵礦未明顯隨時間發生相轉變，可能與矽之共沉澱作用有關。二線水鐵礦之沉澱作用可能有助於減少溫泉中重金屬對人體健康之危害。

以多型伊萊石和伊萊石結晶度探討沉積物的圓度及
淘選度特徵之研究

**Application illite polytype and illite crystallinity on
the characteristics of rounded and sorting of
sediment**

*黃郁茜¹、劉佳玫²

¹中國文化大學地質學系 大學部

²中國文化大學地質學系 助理教授

摘 要

臺灣西部海岸沉積物組成有單晶質石英、斜長石、鹼性長石、黏土礦物及火成岩、沉積岩與變質岩岩屑，其中火成岩岩屑以白雲母為主，此類型的白雲母被稱為碎屑源白雲母；變質岩岩屑則包括了板岩及變質砂岩，而板岩與變質砂岩中的雲母多為已變質的白雲母或者是在變質作用下產生的絹雲母所組成。本研究特別挑選無碎屑源白雲母的沉積物，探討變質岩屑的沉積物在風化作用下，其淘選度、圓度、多型伊萊石及伊萊石結晶度值之間的關係。

本研究目前分析結果顯示，沉積物的礦物種類有單晶質石英、多晶質石英、沉積岩岩屑及變質岩岩屑，其中變質岩岩屑以板岩為主要組成物質。當沉積物顆粒平均粒徑大於100 μm 時，沉積物具中等淘選度，其伊萊石結晶度值為0.291-0.317且多型伊萊石特徵峰較為顯著；當沉積物顆粒平均粒徑小於100 μm 時，沉積物之淘選度佳，其伊萊石結晶度值為0.295-0.340，但是，不易觀察到多型伊萊石特徵峰。

關鍵字：多型伊萊石、伊萊石結晶度、圓度、淘選度、沉積物

Keywords: illite polytype, illite crystallinity, rounded, sorting, sediment

論文組別：一般壁報展示

論文主題類別：EM/EM2

(1) 中國文化大學/劉佳玫教授

(2) 大學生/三年級

(3) tre900903@gmail.com

國外礦區評估流程建立-以N礦區為例

邱維毅¹、謝舒雲¹、李健平¹、林孝維²、涂嘉勝¹、賴光胤¹

(1)台灣中油股份有限公司探採研究所、(2)台灣中油股份有限公司探採事業部

摘要

台灣中油公司為因應國外開放礦區投標之時程，常需在有效時間內針對招標單位釋出或需付費購買之礦區資料進行快速評估，並提供做為公司主管決策參考。其中，地質地物資料的整合性評估即為多項評估流程中的關鍵要素之一，可解析讓出礦區油氣賦存潛能，了解礦區價值。本所做為中油公司內部探勘技術支援主要單位，除既定研究案外，多有臨時承接來自探採事業部的國外礦區讓入評估工作，為使本所人員熟悉快速地質地物評估作業與培育新進人員，遂進行此國外礦區評估流程建立。

在取得礦區讓出相關說明文件後，研讀讓出公司提供之礦區概況資料並另行搜尋相關發表文獻、付費型油氣資料庫或研讀公開資料，了解礦區所處構造背景、盆地地形貌、已知石油系統、臨近礦區生產地層及具探勘遠景之地質組合，並於獲取進階地質地物資料後確認資料是否可供於評估讓出公司所說明之探勘標的、生產中地層或具遠景之地質組合。由於多數讓出案所提供之資料均有其侷限性，往往難以詳盡地進行對比、解釋與估算，故快速評估重點主要為：1. 讓出主要標的油氣藏有效性；2. 讓出礦區是否存有具遠景之地質組合。此兩者均涉及對石油系統各要素的評估，亦即生油岩、移棲路徑、封閉儲油地層與蓋層。一個讓出礦區最大的價值往往非已探明之油氣，而是另具探勘價值的遠景地質組合，在評估過程中，除查核讓出公司提供的地質資料、地物解釋合理性與構造可信度外，更應基於盆地尺度與油氣移棲角度，識讀震測資料中潛藏的各種具探勘潛力的遠景構造。

本評估流程計應用震測資料解釋盆地地形貌、區域鑽井油氣徵兆或生產地層對比、震測反射特性識別與類比等方式，推敲N礦區內可能的油氣移棲路徑、描繪具探勘遠景的構造，並評比具遠景構造內各項石油系統要素存莠，最後結合已知油氣儲集層條件與臨近礦區探勘生產結果，計算及各具遠景構造可能的探勘成功率與展望資源量，以作為本公司之投標決策參酌。

台灣電力公司碳封存計畫發展近況

黃鐘¹、林俊余²、楊萬慧²、蕭以晨²、黃宣維²、俞旗文³、譚志豪³

(1) 台灣電力公司綜合研究所、(2) 台灣電力公司營建處、(3) 財團法人中興工程顧問社

摘要

近年我國淨零碳排之步調較以往幾年加速，除2022年3月30日國家發展委員會公布之「臺灣2050淨零排放路徑及策略總說明」內指出我國在2050年之碳捕集、再利用與封存(Carbon Capture, Utilization and Storage, CCUS)目標為4,020萬公噸外，2023年1月10日立法院三讀通過、2月15日公布之氣候變遷因應法中第39條內亦敘明我國未來進行二氧化碳地質封存之相關規定。

台電公司自啟動各項CCUS相關研究後，於2014年完成台西盆地井下地質資料分析、2018年完成中彰地區地質環境背景值監測網初步建構、2019年完成台中減碳技術園區內微型碳捕集測試區之建立、2020年完成台中減碳技術園區之基本設計、並於2021年通過「台中發電廠第九、十號機發電計畫環境影響說明書第五次變更內容對照表(設置減碳技術園區)」專案小組第二次審查會等。

為推動碳封存之試驗，以取得未來在火力發電廠進行大規模碳封存計畫之相關工程參數與環境監測數據，台電公司於2023年送「台中發電廠第九、十號機發電計畫環境影響說明書第六次變更內容對照表(設置二氧化碳封存試驗場址)」至環保署進行專案小組審查會議。本試驗規劃於台中發電廠北側空地新增試驗場址，用地面積約為1.1公頃。本試驗之最長進行時間與最大灌注量參考減碳技術園區設計使用年限及捕集量規劃，碳封存試驗期程至多15年，二氧化碳灌注量以年平均灌注2,000公噸估計，總灌注量以不超過30,000公噸為原則。

台電公司持續進行碳封存計畫推動工作，除碳封存試驗場址之建置籌備、風險評估、運維規劃等工作外，亦有進行火力電廠附近可能供2050年減碳目標之碳儲集層地質資料彙整，以及持續進行台中發電廠、彰濱光電場地區地質環境背景值蒐集等相關工作，以期在2050年時的減碳量達到國家政策目標之要求。

中文關鍵字：碳捕集，碳封存，台西盆地

Keywords: Carbon Capture, Carbon Storage, Taihsi Basin.

海域天然氣資產投資價值分析:以澳洲 西北海域為例

謝秉融* 李政益 曾文慈

台灣中油探採研究所

摘要

為了在天然氣資產的投資上，有更快速及有效的篩選模式，本研究透過彙整資料庫中之天然氣資產資料，並根據文獻及本公司探採之實務經驗，在資產的 63 項參數指標中，挑選出最具代表意義的 8 項參數進行評分。針對評分前 10 名之資產，再依本公司預測之未來油價走勢進行個別經濟分析。最後，針對個別資產進行經濟分析後，將評選出數個較有投資潛力之天然氣資產。

相較一般微觀之個別資產經濟評估，本研究提出之評分標準及流程，可供宏觀之資產投資篩選。其適用範圍不僅限於澳洲西北部海域，相信若未來其他海域區域有快速綜合評估之需求，此方法是個極佳的選擇。此外，本研究也將人工智慧應用於天然氣資產評分，AI 模型預測之準確率為 90.0%、精確率為 100%，這表示只要被 AI 模型看好之資產，一定為有經濟開採價值的資產。

關鍵字: 澳洲西北海域、天然氣資產、投資價值分析

通訊作者: 謝秉融* 155845@cpc.com.tw

澳洲西北海域 Roebuck 盆地油氣潛能分佈研究

徐郁雯¹、俞舜文¹

(1)台灣中油股份有限公司探採研究所

摘要

澳洲西北海域的 Roebuck 盆地為一中生代時期發育而成的盆地，近年來由於陸續有豐富的油氣在此被發現，Roebuck 盆地逐漸變成了澳洲西北海域一個新興的油氣探勘熱門區域，因此 Roebuck 盆地潛在的生油岩層與其特性，以及盆地的油氣潛能值得進一步研究與討論。

本研究先蒐集與彙整 Roebuck 盆地不同地層的有機地球化學資料，接著再依據 Roebuck 盆地內的地質分區(分別為 Bedout 次盆地、Bedout 高區及 Rowley 次盆地)，分別挑選具有潛在生油岩層且生烴潛能最高的鑽井，來進行 1 維埋藏史的模擬，從而進一步了解 Roebuck 盆地的油氣潛能分佈。結果顯示，Bedout 次盆地以 Roc 2 井的潛在生油岩層具有較高的生烴潛能，總有機碳約為 2%至 4%、熱解烴為 5 至 10 mg HC/g rock；Bedout 高區以 Bedout 1 井的潛在生油岩層具有較高的生烴潛能，總有機碳約為 1%至 2%、熱解烴 5 至 10 mg HC/g rock；Rowley 次盆地以 East Mermaid 1 井的潛在生油岩層具有較高的生烴潛能，總有機碳約為 2%至 4%、熱解烴 < 1 mg HC/g rock。此外，在前述不同地質分區的生油岩層中，以 Roc 2 的生油岩最早進入成熟/產生油氣階段，約在侏羅紀早期；而 Bedout 高區與 Rowley 次盆地的生油岩則差不多皆於白堊紀早期進入成熟/產生油氣階段。綜上所述，在 Roebuck 盆地中，以 Bedout 次盆地的生油岩層品質最好，且最早進入產生成熟油氣的階段，具最好的油氣潛能。

台灣西南部地層油母質生物指標特性研究

蕭良堅 俞舜文 林孟憲

台灣中油公司探採研究所

摘要

油母質為有機分子在埋藏過程中，於成岩作用(diagenesis)階段經過一系列聚合與縮合反應而形成的大分子，為沉積岩中有機碳主要存在形式；再經歷高溫裂解後成為油氣主要來源。另一方面，油母質的結構也能保護其中組成的分子，如生物指標(biomarker)化合物的原始結構不受外界環境影響，有助於進行其來源之研究。然而這種高分子有機聚合物無法以一般有機溶劑溶解，因此本研究以熱裂氣相層析質譜儀(Py-GC-MS)探討油母質生物指標化合物組成。研究樣品來自台灣西南部野外露頭，年代涵蓋中新世到早上新世。熱裂分析結果顯示這些樣品均為 Type III 型有機物，同時涵蓋不同成熟度。分析結果顯示油母質鍵結的生物指標化合物相對於游離部分的含量與成熟度有關，在低成熟度時相對含量較高，隨成熟度增加有減少趨勢；在成熟度進入氣窗階段後多數已自油母質裂解。分段熱裂顯示油母質所鍵結生物指標化合物主要溫度分布範圍在 400°C~500°C 間，同時不同類型化合物溫度分布範圍亦有差異。另外在油窗範圍內，與來源有關之生物指標參數在游離與鍵結部分之間的變化不大，但對與沉積時化學環境或成熟度有關的參數則有影響，顯示自油母質裂解後的分子可能受周邊環境影響而改變其結構。此外油母質的生物指標化合物所揭示之沉積環境與地質觀察也有相近的趨勢，顯示油母質中的生物指標化合物亦有用來探討盆地沉積環境或構造活動演化的潛能。

關鍵字：熱裂氣相層析質譜儀、油母質、生物指標

應用石油系統共同風險分區劃分法評估油氣探勘風險

涂嘉勝、邱維毅、蕭良堅、許庭瑄
台灣中油股份有限公司探採研究所

摘要

在高風險的油氣探勘中，利用石油系統共同風險分區劃分法（Common Risk Segment Mapping）來進行探勘標的篩選及排序，已成為近十年來石油公司經常使用的方法之一，此法可提供在沉積盆地中全面性的石油系統分析結果，作為石油公司在探勘策略決策上的依據。

本研究蒐集研究區域歷年的油氣探勘資料，並視需要更新地質與地球物理解釋結果，根據古沉積環境研究、震測解釋、盆地模擬，以及探勘標的有利相帶分析（Play Fairway Analysis）結果，首次嘗試應用Common Risk Segment Mapping法，並設定工作流程與各項石油系統要素的風險係數評估標準後，進行盆地三維空間上完整的石油系統風險分析工作，包含生油岩品質、成熟度、油氣排聚時間；儲集岩分布相帶與品質；蓋岩分布相帶與品質；封閉構造完整性及震測解釋可靠度等因子，最後將各項因子繪製成綜合的共同風險分區圖，結果顯示此方法可快速且有效率的優選出最佳探勘標的，作為下一步進行探勘好景區評估與探勘井位選址的參考。

澳洲西北海域坎寧區域三疊系探勘標的類型研究

廖韡智、李健平、梁守謙、張國雄、蘇俊陽

台灣中油公司探採研究所

摘要

澳洲西北部海域分布一系列具有油氣蘊藏的中生代張裂盆地，其中的海域坎寧區域(包含了羅巴克盆地與海域坎寧盆地)，近幾年在三疊系中發現大量的油氣蘊藏。本研究整編研究區域內由澳洲政府 2010 年至 2012 年所發布，共有約 700 條 2D 震測剖面與 22 口井的澳洲海域開放礦區探勘資料，進行震測資料的構造與目標面解釋。首先利用震測與井下測錄資料進行合成震波比對，調整各目標地層時間-深度關係，讓井下的目標面在能套用到震測剖面上的正確位置。震測資料解釋共選取 3 個三疊系目標面：三疊系頂部、下部三疊系頂部與二疊系頂部，根據構造與目標面的解釋結果，繪製出 3 個目標面的構造圖。解釋結果與構造圖顯示，三疊系目標面除了在 Bedout 高區附近外，呈現由東南往西北變深的趨勢。研究區域中三疊系內的斷層分布以南北向為主，但缺乏主要的大型斷層，大部分斷層僅延續十多公里，只有少量斷層能延續到數十公里，因此在三疊系內較難以形成大型的構造封閉。根據解釋成果與構造圖，綜合區域內有發表的石油系統等資訊進行綜合分析，認為海域坎寧區域三疊系中有 5 種探勘標的的類型，分別為 Bedout 次盆地中的下部三疊系地層封閉型態的探勘標的、下部三疊系斷層封閉型態的探勘標的、下部三疊系兼具地層與斷層封閉型態的探勘標的、上部三疊系兼具地層與斷層封閉型態的探勘標的及 Oobagooma 次盆地中的地層封閉型態的探勘標的。

中文關鍵字：澳洲西北海域、羅巴克盆地、海域坎寧盆地、反射震測資料、探勘標的的類型

Keywords: Offshore Northwest Australia, Roebuck Basin, Offshore Canning Basin, Reflection Seismic Data, Play types

生油岩變溫熱處理定量方法之建立與應用
Establishment and Application of
Quantitative Method in Multi-Ramp/Heating Rates
for Source Rocks

林詩佳¹、徐敬閔¹、葉世國¹、莫慧貞¹

(1)台灣中油公司探採研究所

摘 要

地球化學探勘由於涉及大量岩石、原油或沉積物樣品分析，常在甫取得樣品時先對樣品密集取樣初步篩選，透過熱裂及總有機碳含量分析等有效又快速的手段首先剔除不具潛能的非生油岩樣品，並初步分類歸納具潛能可能為生油岩的樣品。而在傳統熱裂及總有機碳含量分析方法之外，若想更細緻的瞭解生油岩的產油氣潛能及傾向，則取決於將尚有潛力的活性有機碳與相對較無潛力的惰性有機碳區分開來，並進一步解析其碳氫化合物產量。因此本研究採取美國Green River Shale、Woodford Shale、中國茂名頁岩及台灣西南海域之岩石及油母質樣品，利用HAWK熱裂分析儀分段升溫/持溫功能，建立生油岩樣品的變溫熱處理定量方法。研究結果發現樣品在各變溫區段釋出之碳氫化合物含量及峰型，可與典型油母質Type I、II、III之活化能分布對應並歸類，顯示變溫熱處理定量方法能有效區分裂解性碳氫化合物(S₂)在各溫度區段裂解產生之碳氫化合物差異，應用於更加精確客觀的解釋有機物類型及成熟度綜合潛能。

澳洲西北海域坎寧區域 R 礦區震測解釋

張國雄¹ 廖韡智¹ 李健平¹ 姜竣友¹

台灣中油公司探採研究所¹

摘要

本研究利用澳洲海域坎寧區域 R 礦區之探勘資料與二維震測測線來進行三疊紀地層的解釋與探勘標的研究。藉由震測剖面解釋摘取標定區域內的三疊紀地層，接著再進行三疊紀地層的探勘標的研究。

報告中指出鑽探結果不如預期，其原因可能是受到二疊系之火成岩體侵入影響，或儲集層常被誤認成三角洲震測相。測線稀疏並缺乏鑽井資料控制之區域也採用張裂盆地地層劃分原則來進行震測解釋。

研究結果則顯示盆地西側三疊系地層發現和外帝汶海類似之沙漏構造，此構造為深部地壘和淺層地塹所疊加而成之二階段張裂共軛斷層系統，第一階段為晚侏羅紀-早白紀時期形成之地壘，第二階段則為中新世-上新世形成之地塹。

關鍵詞：澳洲西北海域、張裂盆地、沙漏構造

*通訊作者：張國雄 155349@cpc.com.tw

非洲 Oryx 油田 M 區塊地質模式更新

摘要

查德 Oryx 油田為本公司多年積極經營的海外礦區，並於 2017 年進入生產開發階段。本計畫研究範圍為 M 區塊（包含考慮鄰近 D 構造），整合探勘時期資料與新鑽井資料，其中鑽井資料包含近期區塊內的新鑽佐證井及生產井(M-12)，經由多礦物組成分析、岩石物理模擬、類神經網路模擬橫波等完成井測分析，同時根據 2014 年 PSDM 重處理之三維震測資料，利用新鑽井之鑽遇地層深度與井測完成合成震波比對、儲集層與斷層重新解釋、震波逆推（包含重合前/後、確定性/隨機性地質統計學逆推）分析等方法，滾動式更新研究區域地質構造屬性模型，其結果可作為 Oryx 油田生產開發與探勘經營方針訂定之依據。

本研究首先以新鑽井資料修正三維地質框架，主要更新時間域 K、M 與基盤三層層頂構造面，藉此建立三維確定性震波逆推所需之低頻模型。隨後搭配三維震測速度體進行時深轉換所需之速度體精進修正，最後再將深度域的三維構造模型更新後，完成建構三維屬性體，用以更新現地蘊藏量。而三維岩石物理屬性體部分，本研究採用 CGG Jason[®] 軟體平台進行重合前隨機性震波逆推，並搭配岩石物理分析結果進行機率密度函數（Probability Density Function, 簡稱 PDF）分析與變差函數（Variogram）分析，求取其側向與垂直向的地質結構分布特徵。隨後使用貝葉斯推斷（Bayesian Inference）及馬爾科夫鏈-蒙地卡羅（Markov Chain Monte Carlo, MCMC）演算法，依照前步 PDF 分析結果進行重合前隨機性震波逆推，得到多個實現體（realization）。將多個實現體排序後選用 P50 數據體再藉由協模擬（co-simulation）方法求得符合岩石物理屬性的三維空間推算。最後利用克里金內插（Kriging interpolation）方法，使用震波逆推與協模擬（P50）所得之頁岩含量、孔隙率、含水飽和率等做為趨勢體，將區塊內 12 口鑽井資料建構出三維屬性體。

關鍵詞：井測分析、震波逆推、地質模式更新

臺灣東部地熱流體地球化學特性與結垢潛勢評估
Geochemical Characteristics and scaling assessment of Geothermal fluid of Eastern Taiwan

溫心怡、鍾權偉

工業技術研究院材料與化工研究所

摘要

響應全球淨零排放，臺灣正處於能源轉型的關鍵時代，發展綠色低碳電力是重要工作。政府為增加再生能源選項，將基載型地熱與海洋能列為前瞻能源發展重點。地熱能源是將地底深部的地熱流體生產取熱發電，在地熱流體生產過程中，因為快速洩壓導致曝汽閃發，改變礦物飽和狀態，使得礦物沉澱析出、產生結垢。

臺灣地熱潛能區主要分布在北部大屯火山群地熱區、中部廬山地熱區以及東部的宜蘭和花東地熱區；地熱系統中，地熱流體包含熱水和氣體，富含地熱儲集層之地球化學特徵，在地表常以溫泉和噴氣(亦或溫泉氣泡)的形式呈現。本計畫收集彙整臺灣東部地熱潛能區地熱流體組成及相關地質資料，並根據熱液特性進行結垢礦物潛勢分析，結果顯示大部分的地熱潛能區主要以方解石、霏石和白雲石等碳酸鹽類結垢為主；少部分可能為玉髓、石英的矽質結垢物。碳酸鹽類結垢礦物主要受到兩種因素影響：溫度壓力之熱力學參數改變，抑或是受到二氧化碳逸氣。未來可參考各地熱區的結垢潛勢礦物種類，並透過監測分析地熱流體特性變化，量測地熱流體物理性質(如流量、溫度、壓力、酸鹼值)和化學組成(如鈣、鎂、矽離子以及二氧化碳分壓)，以建立結垢警示系統。

中文關鍵字：地熱流體、流體地球化學、土場仁澤地熱區、臺東紅葉地熱潛能區、結垢潛勢評估

英文關鍵字：geothermal fluid, fluid geochemistry, Tuchang-Jentse, geothermal field, Taitung Hongye potential geothermal field, scaling assessment

以多變量分析清水地熱之地熱儲集層特徵之研究

Application Multivariate Analysis on the characteristics of reservoir in Chingshui Geothermal Field

*梁玉欣¹、劉佳玫²

¹中國文化大學地質學系 大學部

²中國文化大學地質學系 助理教授

摘要

清水地熱區為臺灣地區地熱潛能區之一，就前人的研究資料顯示，清水地熱區第一座地熱電廠最後走向暫時性關閉的原因乃管線結垢問題。然而，長期以來看似能夠源源不絕供應清水地熱河床溫泉的地下流體，在全年降雨量極低的天候條件下，有時候僅出現熱氣，有時候連熱氣都沒有僅有碳酸鈣的沉澱物，這樣的清水地熱從未被報導。有鑑於此，本計畫以監測的方式及多變量分析方法進行清水地熱區地熱儲集層的解析，了解溫泉及河水間的地球化學變化與關係，並提供清水地熱區地熱儲集層的基本背景資料。

以多變量分析連續13個月的水樣，其目前成果顯示，清水溪河床溫泉與井下超過1,000公尺深的湧泉之地球化學特徵最為相似，代表清水地熱區地熱儲集層之熱焔相當高且裂隙發達。另外，清水河流域是位在板岩為主的基盤岩石，其板岩主要礦物為石英、長石、雲母、方解石以及黏土礦物-伊萊石、高嶺石和綠泥石，就水-岩之間的反應關係顯示，以二氧化矽溫度計作為估算儲集層溫度是目前本研究區域最佳估算儲集層溫度之地質溫度計的選擇，其溫度範圍介於200 °C-250 °C之間。倘若要更精確獲得地熱儲集層溫度，建議可利用多成分地質溫度計來估算之，因為多成分地質溫度計乃以儲集層及反應過程中出現的礦物種類之飽和度作為估算儲集層溫度之依據。

關鍵字：連續採樣、儲集層、多變量分析

Keywords: continuous sampling, reservoir, multivariate analysis

非彈性應變回復法現地應力評估的統計分析與精進

蔡維倫¹，陳炳權²，楊士寬¹，葉思肇¹，林立虹²，柯建仲³

1 國立臺灣師範大學地球科學研究所

2 國立台灣大學地質科學系暨研究所

3 財團法人中興工程顧問社 大地工程研究中心

隨著科技文明的進步、經濟發展的提升，及為追求更高的生活品質，人們對於天然資源與能源開採、工程開發和廢棄物處置等各項需求也日與俱增。在這些發展的促使與推動下，地下開挖工程逐步普遍，也因此現地應力的量測及資訊趨於重要。現地應力的量測有諸多方法，如套鑽法、水力破裂和非彈性應變回復法等。其中以非彈性應變回復法(Anelastic Strain Recovery, ASR)為目前成本耗費較低與效率較高的現地應力測量方法(孫東生等人, 2014)。ASR法是以鑽井獲取地下深處岩石，藉由應力解壓後所產生的應變回復進以推算三維現地應力方向和規模的方法。

前人使用的非彈性應變回復的解析方式是使用 18 個黏貼於岩芯的應變計測量 9 個方向的回復正應變規模，以程式重建三維應變張量，進行三維主應變場的演算，轉換成主應力方向與規模。但結果只獲得一組平均數值，並未分析各方向與規模的偏差量，以致無法說明數據的可信度供工程單位參考使用。本研究預計進行原程式的改進，將原本 9 個方向應變數據改以 6 個獨立方向為一組單位，並於每個獨立方向使用 4 個應變計進行量測，再以數據利用共變異數進行機率與統計的計算，以數值的變數變化程度來和期望值進行分析比較。

實驗樣本取於臺東南橫大崙溪，深度 140 米之片岩樣本。ASR 實驗黏貼 24 隻應變計數據初步分析結果顯示為非典型安德森斷層應力場形式。最大、次大和最小主應變之位態分別為 $141.14^\circ/45.79^\circ\text{E}$ 、 $36.22^\circ/14.05^\circ\text{E}$ 和 $293.74^\circ/40.81^\circ\text{W}$ ，水平最大應力的擠壓方向為西北-東南向，主應力由大到小分別為 3.66、2.22 和 2.06 MPa。葉理傾向和傾角分別為 296.18° 和 65.31° ，葉理面的法向量與三軸主應變相距較遠，推測本樣本可能沒受到葉理面力學異相性的影響。

後續將得到的數據結果進行統計與總結，使 ASR 實驗應力精度的可信度增加。

關鍵字: 非彈性應變回復法、現地應力

英文關鍵字: Anelastic Strain Recovery, in situ stress

不同類型的地熱儲集層下水力破裂的應用

吳泓昱 施松呈

摘要

地熱儲集層依據深度、熱源、流體形式的不同，可以分為淺層地熱、深層地熱、火山型地熱、非火山型地熱、熱水型地熱與蒸氣型地熱，根據不同的儲集層類型，水力破裂技術的應用也存在些許差異和應用特點。水力破裂技術主要用於破裂岩石裂隙，提高岩石裂隙系統的連通性，以增加地熱液的釋放量並提高開採效率。

台灣的地熱系統中，除了台北大屯山火山群與宜蘭外海龜山島屬於火山型地熱，其餘東部主要地熱區皆屬於非火山型地熱。火山型地熱區主要由火成岩組成，地下岩層的結構較為完整，地溫梯度較大，在淺層地熱就足以達到發電所需之溫度；非火山型地熱之熱源來自高溫變質岩，因地溫梯度相較小，若須達到發電所需之溫度，則須往更深層的區域開採，但該類地熱地下水資源常不夠豐沛，地表水的滲透難以到達，故通常需以人工注水的方式進行取熱。

地熱開採的效率主要取決於地層溫度、熱交換面積，地層溫度受熱源類型與深度限制，而熱交換面積與裂隙的發展有著相關性，透過水力破裂可以改善孔隙率與滲透率，且達到地層連通的效果，亦可使缺乏地下水的地層獲得充足的水資源，以提高地熱發電的生產效率與產能。地熱儲集層下的水力破裂技術可以根據不同的儲集層類型和特點進行不同的應用和最佳化，以提高地熱液的釋放量 and 開採效率，促進地熱能源的開發和應用。

宜蘭地熱區裂隙活化趨勢分析

以芄芄溫泉、排骨溪、土場與仁澤為例

王婷慧¹、葉恩肇¹、張郁敬¹、陳棋炫²、陳勉銘²

國立臺灣師範大學地球科學研究所¹

經濟部中央地質調查所²

摘要

政府規劃於 2025 年達成淨零排放的目標，位於環太平洋火環帶的臺灣，其地熱能發電是目前少數可以自主、基載且極具潛力的再生能源，因此積極的探勘與開發熱能是刻不容緩課題。我國估計傳統地熱的發電潛能僅 1GW，但預估仍有 31.8GW 的深層地熱潛能尚未發掘，如何篩選具高潛能的地熱發電場址，需詳細的地質、地物與地化的調查以及探勘評估。前人研究成果指出宜蘭地區地表有多處溫泉、噴氣孔等地熱徵兆，配合鑽探資料推算的高地溫梯度顯示宜蘭地區可能為良好的地熱潛能場址。目前宜蘭在清水地熱區已有 1 處商轉地熱發電廠，為評估宜蘭地熱區地熱流的永續發展性與延續性，本研究以芄芄溫泉、排骨溪、清水與土場仁澤地點為例，評估不同位態裂隙成為地熱流體通道的潛能與可能性。

地質調查結果顯示研究區域的地層岩性主要為變質砂岩、板岩及硬頁岩，劈理面大多近乎平行層面，走向以東北—西南方向的板劈理為主。節理走向以北北西—南南東方向至近南北為主、北北東—南南西方向次之，礦脈走向則由東北—西南走向與西北—東南。研究區域的震源機制解反演結果顯示，芄芄溫泉、排骨溪、土場與仁澤地區大地應力狀態主要以正斷層為主走滑斷層為輔，最大主應力方向為北北西—南南東方向擠壓，與後期岩脈及節理走向相似。配合應力反演所計算出擴張趨勢、滑動趨勢及裂隙不安定性等的裂隙活化趨勢空間分布可推測芄芄溫泉、與排谷溪區域以南北走向高傾角裂隙的活化趨勢較高，土場仁澤則以西北—東南走向高傾角裂隙的活化趨勢較高，與地質調查的

節理走向相符合，推斷該位態裂隙可能成為熱液的上湧通道。本研究進一步將會以數值高程模型所判釋之地表構造，經球型變異分析及投影角篩選後取得可信度較的地表線型，結合大地應力場資訊，評估各線型裂隙之活化潛能，並結合地質調查的成果，對地熱資源的探勘與開發提供更充分的資訊，以期提升台灣地熱能源之運用。

關鍵字：裂隙活化趨勢、地熱、宜蘭

- (1) 國立臺灣師範大學/葉恩肇博士
- (2) 碩士/二年級
- (3) 61044006s@ntnu.edu.tw

臺灣東部變質岩地熱區古地熱流體溫壓及三維應力場之探討

-以臺東鹿野溪紅葉谷溫泉為例

鄭鈺義¹、葉恩肇¹、張郁敬¹

國立臺灣師範大學地球科學研究所

摘要

台灣位於環太平洋火山帶，由於火山活動與板塊交互作用造就國內擁有豐富的地熱資源。根據地調所溫泉分布圖可以發現，全台地熱溫泉出露豐富，正好說明臺灣本島有相當豐富地熱潛能。如果能善加利用地熱資源，不僅對於國內能源自主性與多樣性有相當大的幫助，更可以減少我國對化石能源過度依賴的情形，因此地熱資源探勘與地熱潛能評估是現今刻不容緩的議題。本研究預計以確認熱源地溫梯度並進一步評估其開發潛能為目標，以此來協助發展深層地熱開發技術。

台灣在歐亞大陸與菲律賓海板塊交界區，於板塊間聚合作用的影響下，地殼持續碰撞、造山及快速掘升，直至今日板塊仍然在運動中。本研究區域位於台東縣延平鄉，地處中央山脈，東邊為花東縱谷平原，岩性主要以黑色板岩為主，偶夾薄層至數公尺變質砂岩的紅葉層。受到二氧化矽流體液壓影響使其撐開圍岩充填其中，由於流體侵入形成礦脈時，二氧化矽流體液壓至少要達到最小正應力，才能將岩體撐開並滯留於裂隙中冷卻形成礦脈，因此可以利用石英脈生長方向評估礦脈形成時的應力方向，針對切過夾皺劈理與急折帶之石英脈量測位態，結合石英脈中液包體所提供的溫壓資料，計算應力數值與礦脈形成

時的確切深度，進而求得研究區的古地溫梯度。

鹿野溪紅葉谷綠能溫泉園區自 2020 年起台泥陸續進行區域的地質探勘與地熱發電規劃，並且預計於 2024 可進行 1MW 的發電，對於國內地熱研究非常具有代表性。鹿野溪沿線露頭出露良好，可以清楚觀察構造變化，因此選擇此地為研究區域。藉由觀測不同石英脈產狀與其構造的截切關係，以此比較現今地溫梯度與古地溫梯度之異同，探究應力場是否有足夠的溫度與液壓進行後續開發。鹿野溪沿線較後期的石英脈經統計有兩組方向，礦脈位態分布大致由西北 - 東南及東北 - 西南兩組方向所構成，截切關係為西北 - 東南方向礦脈截斷東北 - 西南方向礦脈，這也說明西北 - 東南方向礦脈為較後期生長，未來將會觀察微視尺度下劈理與石英脈的截切關係並進行液包體的量測，以期獲得古地溫梯度，評估其地熱潛能。

地熱定向井井孔穩定性之測井地質力學分析台灣北部 仁澤土場地熱區

陳炳誠¹、郭力維²

(1)台灣中油公司探採事業部、(2)國立中央大學地球科學學系

摘要

地熱開發時，鑽井費用可佔整體開發成本之50%以上。如鑽井過程中，井孔不穩定可能造成鑽井時間、材料及設備之損失甚至影響鑽井安全。此外因台灣之土地取得不易，有時需以鑽鑿定向井方式探勘地熱儲集層。定向井孔方位與大地應力之大小與方位之截切關係是否會使造成井壁的坍塌，皆需要進行計算評估。

本研究利用JT-3與JT-4號地熱井鑽井參數、井溫及井測資料進行一維岩石力學模擬，建立岩石力學強度及應力場資料。此地區之最大水平主應力方向約為北50度東，應力場為平移為主，伸張分量為輔。岩性為緻密板岩夾變質砂岩。依這些資料，本研究建立此地熱區初步的最佳鑽井泥漿密度區間與較低工程風險的鑽井方位。然而，因這個地區較缺乏岩石實際力學強度的實測資料，未來將補充岩石之實測數據改善此研究正確性。

關鍵字：井測、地質力學、井孔穩定性

台灣中油公司地熱鑽井之技術改善、設備提升與未來 規劃

陳炳誠¹、杜開正¹、陳汶柔¹、蘇晉立¹、陳裕國¹、楊志成¹

(1)台灣中油股份有限公司探採事業部

摘要

台灣中油公司為響應政府之綠能政策，近年已將台灣陸上油氣鑽井設備與人力轉移至地熱鑽井。此外中油公司亦持續設法提升地熱鑽井速度、降低鑽井工程成本、降低環境衝擊及維持鑽井工程安全。

台灣地熱資源多位於緻密變質岩地區。近年隨著地熱鑽井數的增加，中油公司在地熱鑽井過程中，持續測試鑽頭種類及鑽具組合，在台灣脊梁山脈變質岩區之鑽進速度已有明顯提升。另外，因台灣缺乏可用於鑽井及開發之平坦地面，中油公司已廣泛應用定向鑽井技術於地熱鑽探，不需在地下目標儲集層的垂直正上方進行鑽探，在目標的側上方地面以斜井鑽探目標位置。因為台灣板岩層緻密且有高角度之岩性變化，較難控制鑽進方向。藉由精細調整鑽具及井底馬達，本公司之地熱定向鑽井皆可控制成功鑽入目標靶區。在一個井坪上，本公司可利用鑽機基礎滑軌平移鑽機，可快速地在同一井坪鑽鑿多口地熱井，大幅減少鑽機組立及拆遷的時間。

鑽井的鑽頭及鑽具最佳化、定向鑽井技術及鑽機以滑軌移動之應用，皆已明顯加快地熱鑽井之速度及減少土地的使用面積。對於地熱鑽井成本控制也有明顯的助益。此外，為能在地熱鑽井過程中，維持鑽井安全性及地層生產能力，本公司對於地熱鑽井工程之作業安全、鑽井泥漿性質的調控、堵漏材料及防噴方法等亦皆持續改善及優化。

在本公司之宜蘭仁澤及土場地熱鑽井施工前、中、後，本公司皆進行環境監測與調查，監測項目包含架設微震站紀錄微震變化情況、鑽鑿水位觀測井以紀錄地下水位及地下水質變化、進行鄰近河流之水質分析、鑽井區鄰近之動植物種類變化紀錄及環境噪音紀錄等，以善盡中油公司之企業環境保護責任。

本公司將引進鑽井自動化之輔助設備，提高鑽井安全性，並減少鑽井操作人力。為因應台灣地狹人稠，可用地面積較小的限制，本公司亦積極引進小型車載式自動化鑽機，可在較小的空間以較少的人力進行地熱鑽井作業。而為推動深層地熱發展，本公司亦規劃引進精密之隨鑽測錄井設備。

鑽井工程雖然在台灣是小眾行業，但在國際上是大量應用高科技新技術之行業。希望對地熱及鑽井工程有興趣的地球科學界及工程學界畢業生可加入本公司地熱鑽井工程之工作行列。

台灣中油公司之宜蘭縣仁澤土場地熱區背景地震基線監測

楊國威¹、楊志成¹、陳炳誠¹、杜開正¹、廖彥喆²、李恩瑞³

1. 台灣中油股份有限公司探採事業部
2. 工業技術研究院綠能環境研究所
3. 成功大學地球科學系

依國外地熱田開發經驗，在大量生產及回注地熱水時，可能因地層壓力改變，使地層產生微小錯動進而產生微震。台灣中油公司積極支持國家綠能開發政策，自 2019 年起於宜蘭縣仁澤及土場地熱區陸續鑽探地熱探井並進行產能測試作業。

為了解地熱鑽井、產能測試等工程與地震之關係，提供科學背景基線監測依據，台灣中油公司於 2020 年開始，即針對土場地熱區進行地震監測與分析工作，期能了解該地區背景地震活動，以了解地熱鑽井及開發與微震及地震頻率間之關係。

本案以仁澤土場地熱案場為圓心，半徑 15 公里為監測範圍。初期先搜集中央氣象局 2012 年到 2019 年於本計畫範圍內之地震，建立背景地震目錄，了解此區過去地震活動背景；再於 2020 年起，擇 5 處合適地點設置速度型寬頻地震站，並整合鄰近測站資料形成地震觀測網，以完整監測背景基線。監測期間自 2020 年 4 月至 2023 年 1 月，以模板搜尋法(matched filter technique, MFT)判釋區域地震數量 6410 筆，地震活動介於深度 5 到 10 公里間，最小完整規模約為芮氏規模 0.8，其 b 值約為 1.02，相較於 2012 年至 2019 年的背景地震活動並沒有顯著差異。

地震事件空間分佈，以宜蘭縣大同鄉清水地熱電廠西南側，及四季村至南山村為地震較活躍區域，與仁澤、土場地熱開發之鑽井及產能測試活動無明顯空間關連，無誘發微震的情況。未來本公司將持續監測與分析鑽井、地熱水生產與發電尾水回注期間的地震及微震情況，以完善地熱開發作業。

新瀨海底火山震波衰減與地熱資源初步研究

許心瑀¹、Lawrence Hutchings²、李昭興³

¹國立臺灣海洋大學地球科學所

²Lawrence Berkeley National Laboratory

³台灣地熱資源發展協會

摘要

有許多研究利用地震來監測火山活動，並推測地下岩漿庫位置以及探勘地底下的地熱資源。本研究利用密集地震網收集地震，用震波來觀察有無異常的事件，再以震波速度（ V_p , V_s ）和地震衰減（ Q_p , Q_s ）來計算出各個岩石物理參數（Bulk, Lambda Modulus 及 Poisson's Ratio）。這些參數可以用來建立地下三維模型，來解釋地下的構造並探討發生異常的現象。因S-波的衰減可能與地下岩層中富含流體或岩漿庫有關聯，利用此方法也觀察到震波有衰減的現象，與彈性係數的三維模型中看到在新瀨海底火山底下有異常低值，這可能代表是有高溫蒸氣的存在。在未來仍需要更多的資料來分析出海底火山的狀況，及希望能推測出海底火山的熱源存在。

雪山山脈與中央山脈地熱潛能區熱流通道模式差異之探

討：以宜蘭地區排谷溪、土場仁澤地區為例

曾雅筑¹，葉恩肇¹，李建成²，黃詠晴³，何恭睿²

(1)國立臺灣師範大學地球科學系

(2)中央研究院地球科學所

(3)國立台灣大學地質科學系

摘要

台灣島地處複雜的板塊交界帶，全台多處皆蘊含天然的溫泉地熱徵兆，主要分布於火山區與變質岩區，其中變質岩區涵蓋全島至少一半面積，並且於多處可見野溪溫泉湧出，說明台灣具備足夠地熱開發潛能。台灣最早開始進行地熱探勘研究屬宜蘭地區，沿蘭陽溪多處皆有地熱徵兆，包括清水、芄芄、排谷溪、土場與仁澤等地區，並已有數口地熱探勘井、地球物理與地球化學調查等資訊，而地熱地質調查則可提供熱液儲集層與蓋層、熱流通道可能相對應的岩層與構造，對於建立地熱地質概念模型有重要影響。位於蘭陽溪北側雪山山脈區的芄芄溫泉與南側中央山脈區的清水、土場與仁澤皆有地熱徵兆，並已有相關地熱探勘研究提出其地熱概念模型，本研究主要著重於探討兩地質區可能的熱流通道模式與其異同之處，目前土場仁澤地區熱流通道模式可分成兩種說法：熱液移棲與次生裂隙模式，前者認為熱源位於仁澤下方，經由深切斷層破裂帶將熱液帶至淺部，遇蓋層向東北方移棲至土場地區湧出；後者則認為熱液沿著廬山層仁澤段中存在於砂岩層內的次生裂隙湧出，且裂隙方向為 330° 。位於雪山山脈側之芄芄溫泉的熱流通道模式則可能是熱液透過牛鬥斷層上湧至淺部後，轉由通過南北向開口裂隙湧出。本研究期望藉由野外地熱地質調查，分析排谷溪與土場仁澤地區各期構造先後順序與關聯性，並瞭解兩大地質區可能的熱流通道模式。初步地質調查結果顯示土場仁澤地區的溫泉皆出露於高傾角砂岩層，並有熱液填充石英脈，主要方向為 320° 至 330° ，而區域小斷層主要走向為 045° 至 090° ，熱流通道方向主要沿何種裂隙上升與湧出，以及斷層與石英脈之間截切關係仍不清楚。排谷溪沿岸露頭則以後期正斷層與石英脈為主，兩種構造主要方向皆為 320° 至 330° ，與土場仁澤地區觀察到的裂隙方向一致，然而野外並無四稜砂岩或區域性構造延伸至此，推測芄芄溫泉的熱流通道模式可能不適用於此，熱流是否可能直接沿著 320° 至 330° 裂隙從儲集層上湧或者有其他構造，本研究將透過野外地熱地質調查，以期能進一步釐清相關構造先後順序與主要熱流通道構造。

裂隙地質調查應用於地熱探勘

張靖、周賢元、吳維毓、謝岳志、秦念祺、周碩君、
陳弘宜、李健瑀、陳伯軍、陳炳誠、楊志成
台灣中油探採事業部

摘要

台灣構造運動活躍，地層普遍有裂隙存在。無論於油氣或地熱探勘領域，連通之裂隙可改善地層的孔隙率與滲透率，甚或在緻密岩體中形成裂隙儲集層(Fractured reservoir)。台灣東部地熱潛能區多位於低孔隙率的變質岩層，相關報告常提出地熱流體之儲集與流通受岩體裂隙控制，並將相關參數應用於地熱資源蘊藏之評估與計算，顯見釐清裂隙特性為地熱探勘之重要課題。

雖然藉井下岩心或FMI井測(Formation Micro-Imager)等方法可直接對儲集層裂隙進行計測，但井孔代表之範圍有限，無從獲得裂隙連通性或裂隙總長等空間數據，故野外露頭之測量調查仍有其必要性。本公司早期常用測線法(Liner scanline sampling)測量地層破裂程度，記錄與單位長度測線交會之裂隙數量，但此法之測線取捨較為主觀，且資料僅能概略反映裂隙密集度，於儲集層評估之作用有限。為提高效益，近期調查已加入區域取樣(Areal sampling)如視窗法(Rectangular window sampling)等方式，對視窗區域內所有可見裂隙進行總長度、位態等項目進行計測。自110年起，先於西部某油氣礦區進行工作方法評估及驗證，隨後應用於台灣東部地熱地質調查。經過現有沉積岩與變質岩區案例初步分析，所見如下：

- 1.地層破裂程度同時受岩性及構造作用影響，但隨構造變形程度之增強，岩性造成之差異隨之減小。
- 2.不論岩性，尺度達數公里以上之斷層構造附近常可見破裂程度整體提高，特別是複數斷層交會處；相較之下，褶皺構造區的地層破裂仍受岩性主控。
- 3.某些案例中，高破裂強度露頭分布呈現特定空間趨勢，大致可對比至區域主要裂隙或構造走向，且與溫泉露頭分布方式似有關聯。

綜合以上發現，本公司認為在斷層露頭不明確之區域，如東部變質岩區，有機會以此法輔助發現斷層或追蹤其位置，進而推估地熱潛能區範圍。惟目前案例較少，對區域尺度之取樣方法及資料解釋仍有精進空間，待累積更多分析結果後，可望進一步降低其不確定性。

大屯山地熱儲蓋系統

林章凱、李沅銘

台灣中油股份有限公司探採研究所

摘要

依據過去地熱鑽探井資料，大屯山地熱系統在馬槽地區具有最高的地溫梯度，且曾產出弱酸性熱水，但是對於地下弱酸性熱水分布的瞭解相當侷限。為了進一步掌握弱酸性熱水之分布，本研究以儲蓋系統的地熱概念模式為基礎，透過馬槽鄰近地區井下岩心礦物相分析進行熱液換質帶分類，進而辨識儲集層及蓋層分布。

熱液換質作用在熱源外圍之區塊，容易見到黏土化帶(Argillic zone)，代表較低溫且酸性的環境，可作為地熱系統的蓋層；而在相對高溫環境條件下的青磐岩化帶 (Propylitic zone)或絹英帶(Phyllic zone)在熱液換質作用過程中將地下流體之氫離子交換並形成絹雲母，進而降低流體中的氫離子濃度，使地下流體的酸鹼值增加，可作為地熱系統的儲層。

本研究透過中央地質調查所小油坑井、擎天崗井及竹篙嶺井共三口井之岩心進行岩石薄片之岩象分析、全岩 XRD 粉末繞射分析，其分析結果分別提供礦物相鑑定、熱液換質程度評估，並依結果進行熱液換質種類分帶。分帶結果顯示小油坑井與擎天崗井皆為黏土化帶，屬地熱系統中的蓋層。由鄰井(CPC-MT-1T 及 E208)分析結果於 500 公尺探獲儲集層推估，小油坑井於 350 公尺處尚未進入儲集層尚屬預期，擎天崗井於 500 公尺處則接近蓋層與儲集層之邊界，唯仍需有更深的井下資料分析後方能證實。竹篙嶺井由五指山層上覆黏土化帶則證實了青磐岩化帶不存在。

關鍵字：火山型地熱系統、礦物相、熱液換質帶

Construction of Geomechanical Model for Carbon Sequestration Simulation Purposes.An-Jung Huang¹, Hung-Yu Wu¹, Min-Hao Wang²

1. Mechanical Assessment of Reservoir Visual-hazard Evaluation Lab, Dept. of Resource Engineering, National Cheng Kung University
2. SLB

Abstract

As concerns about climate change continue to grow, finding effective ways to reduce greenhouse gas emissions has become imperatively important. Carbon capture and sequestration (CCS) is one promising approach for achieving net-zero carbon emissions target. However, injecting large volumes of CO₂ into subsurface formations may cause significant impact to changing the on-site stress regime status, which can lead to issues such as leakage pathways and local pressure fluctuations. To address these concerns, this research aims to develop a workflow for constructing a geomechanical model using logging data from geological and geophysical surveys, including formation micro-image. This model will be used to study the stress state of the certain structure, determine the maximum injection limit, and simulate pressure migrations with the fracture system. Using various rock parameters, including elastic properties and Young's modulus, the geomechanical model will be constructed beyond the well, which can be extrapolated to create a 3D model. The ultimate goal of this research is to create a physics-based geomechanical model and develop a time varying dynamic simulation. In this scenario, we can better understand the behavior of regional structure evolution during CCS injection and ensure that this promising technology is implemented safely and effectively.

三維地下地質模型之建立與運用-以 Leapfrog 為例

林朝彥¹、董倫道¹、郭泰融¹、葉恩肇²、鍾權偉¹、林昶成³、陳棋炫³、陳勉銘³

1.工業技術研究院 材料與化工研究所

2.國立臺灣師範大學 地球科學系

3.經濟部中央地質調查所 區域地質組

摘要

三維地下地質模型是基於地球科學、地質學、地球物理學、工程地質學等領域的研究綜合成果，通過數據收集、處理和建模等過程，構建出地下環境的真實、可信、高精度的三維模型。相比於傳統的二維地質圖或剖面，三維地下模型具有空間精度高、數據豐富、視覺呈現效果好、模擬預測能力強等優勢。具體而言，構建出的地下環境立體空間模型，可以更準確地描述地下地質、地形、水文地質等空間特徵，通過三維可視化技術呈現地下環境，使專家、學者可以更好地理解和掌握地下環境的複雜特徵，對於地下資源開發與認知有較好的效果。

Leapfrog 是紐西蘭 SEEQUENT 公司所開發之三維地質建模軟體，根據不同的需求，擁有數種不同的軟體套件，其中 Leapfrog Geothermal 主要應用於地熱潛能探採。Leapfrog 根據輸入的地質、地球物理資料，如地形地貌、地表線型、井錄資料、地震震源與點雲資料等，快速建立地熱地質模型，達到側向整合之目的，提供後續地熱開發與運用。

本團隊近年來協助地調所建立地熱好景區之地下三維地質模型，包含大屯山、仁澤、土場與台東紅葉等地，具體提供儲集層地下空間分布與井錄資料等地質資訊參考，快速鎖定地熱潛能區特性，提供後續侵入式鑽井規劃的重要依據。

關鍵字：三維地下地質模型，Leapfrog Geothermal，大屯山，台東紅葉，地熱潛能

Keywords: 3D underground geological model, Leapfrog Geothermal, Datunshan, Taitung Hongye, geothermal potential area.

應用 Sentinel-1 衛星影像與 SNAP 監測 2022 池上地震

黃子加¹、陳虹瑄¹、吳善薇^{1*}

¹中國文化大學理學院地質學系

*wsw2@ulive.pccu.edu.tw

摘要

台灣台東縣於當地時間 2022 年 09 月 18 日 14 時 44 分 15 秒發生了 $M_L 6.8$ 地震，地震震央位於台東縣政府北方 42.6km，位於池上鄉，震源深度為 7.8km，屬於極淺層地震，震度為 6 強，此次地震造成全台 1 死 146 傷以及大規模的橋梁傾倒斷裂，是繼 2022 年的 3 月 23 日規模 6.2 長濱地震與 6 月 20 日規模 6.0 光復地震後，花東地區再次發生規模 6 以上的災害性地震，受到各界重視，在 918 地震前後有發生多起前震以及餘震，震央皆位於玉里斷層南側與池上斷層西側，在玉里斷層與池上斷層沿線有明顯的地表破裂現象，引發各界對於本次地震是否為玉里斷層、池上斷層或學界所謂「中央山脈斷層」活動所引致的討論，因此本研究使用衛星應用平台-SNAP 應用了合成孔徑雷達差分干涉法，在不同時間獲取同一地區的衛星微波影像資料進行差分干涉計算分析後，得到區域在時段裡地表與衛星的距離變化所產生的雷達波相位差，進行解算後得到地表變化量，監測池上地震，短期達到初步瞭解，長期資料監測期盼達到判定中央山脈斷層。本專題研究資料是使用 Sentinel-1 衛星影像，此乃歐洲太空總署及歐盟委員會(ESA)聯合推出哥白尼計畫中的第一個任務，Sentinel-1 搭載 C 波段的合成孔徑雷達儀器向地表發射微波，並且使用 IW 影像獲取模式以成像方法為最新的地表掃描技術 TOPSAR 來成像。

關鍵字：池上地震，花東地區，極淺層地震，snap，地表變化量

(1) 就讀學校/指導教授：中國文化大學/吳善薇教授

(2) 學位/年級：大學部/三年級

(3) E-mail/手機號碼：Jean0900251025@gmail.com

2023 Turkey Earthquakes Revealed by Satellite Imagery

Sin-Mei Ng

Department of Geology, Chinese Culture University, Taipei, Taiwan

wsw2@ulive.pccu.edu.tw

Two prominent shallow earthquakes along with lots of aftershocks struck southern Turkey near the Syrian border on 6th February, 2023. The largest Mw7.8 earthquake occurred approximately 9 hours before the following Mw7.7 earthquake, which was about 90 km to its north. In terms of spatial and temporal relations, they seem to be related and triggered by the sinistral strike-slip fault system, namely the East Anatolian Fault System. Large surface rupture and distortion have been reported. In this study, optical satellite imagery will be first examined to look for the large surface rupture caused by both earthquakes. Then, the differential interferometric synthetic aperture radar method will be applied on Sentinel-1 Level-1 SLC products.

Keywords: Turkey earthquakes, Sentinel-1, SNAP, GMTSAR

利用 GPS 時間序列探討大屯火山區的暫態地表運動

黃奕昇 張午龍 邱紀瑜

國立中央大學地球科學系

摘要

GPS 的連續位移記錄可提供許多地表運動資訊，如平均速度、季節性週期振盪、同震位移等，而其中的非線性暫態訊號(nonlinear transient signal)可反映地殼在受到短期應力作用時所產生的變形行為，如震後及火山效應或地下水位變化等。因此利用時間序列分析方法將這些變形訊號(signals)由含雜訊(noises)的觀測資料中分離出來，以提供後續的模式分析，是測地學中重要的課題。本研究選擇 2013-2021 年間大屯火山區的 5 個 GPS 測站記錄，先用 SSA(singular spectrum analysis)方法對缺漏資料(missing data)進行填補，再以 MSSA(multi-channel SSA)方法萃取這些測站在時間和空間上相關的暫態位移趨勢。結果顯示從 2015 年 4 月至 2020 年 4 月，大屯火山區的大油坑區域有兩個時期的顯著暫態地表運動，且其模式與 Pu et al., (2021)以 2014~2017 間地震資料所提出的大屯火山熱液活動有很好的時空關連性。因此我們進一步以長球體(prolate spheroid)火山源模型來量化描述熱液通道系統及其內部壓力變化，並對暫態地表運動觀測進行擬合。初步結果顯示最佳模型的深度約為 4 公里，與 Pu et al. (2021)所提出的結果一致，其體積變化約為 $6 \times 10^5 \text{ m}^3$ 。

Rupture kinematics of the 2019 Mw 6.8 Davao del Sur Earthquake, Philippines

Ivan Casallas¹, Jyr-Ching Hu²,

(1) Department of Geosciences, National Taiwan University, Taipei, 10617, Taiwan

(2) Department of Geosciences, National Taiwan University, Taipei, 10617, Taiwan

Abstract

The Philippines archipelago exhibits considerable seismic and volcanic activity, it is located on the boundary between Eurasian Plate and Philippine Sea Plate where two subductions zone dipping oppositely. The eastern subduction system consists of the Philippine Trench and the East Luzon Trough, which accommodates the northwestward motion of the Philippine Sea plate. In the western the Manila, Negros and Cotabato Trenches form another subduction system which is induced by the motion of the Philippine Sea plate. During 2019 the Mindanao Island located on the southern part of the Philippines was affected by a series of four strong earthquakes $M_w > 6.0$, three of them occurred in the month of October. On 15 December 2019, the last one and biggest earthquake with $M_w 6.8$ and a focal depth of 18 km struck the region of Davao del Sur, Philippines. The Philippine Institute of Volcanology and Seismology (PHIVOLCS) reported a maximum intensity of VII and numerous aftershocks. In addition casualties, people injured and significant damages to buildings and infrastructure were reported. The 2019 Davao del Sur earthquake occurred on the Cotabato fault system and was dominated by a strike-slip motion. In this study, we characterize the rupture history of this earthquake, by jointly inverting geodetic and seismic data, under a Bayesian framework. At first, we invert InSAR data to accurately determine the fault geometry parameters of the earthquake. Then we performed an inversion of teleseismic (P waves) and InSAR data to model the temporal and spatial characteristics of the rupture process. The results reveals that the slip distribution was dominated by a slip patch which spans a depth range of 3–22 km and occupies ~22 km along strike. The rupture duration was approximately 16 s and the maximum slip amplitude reached 1.8 m at 10 km depth. Finally, we discuss and interpret the findings to better understand the seismotectonic aspects of the 2019 Davao del Sur earthquake.

Keywords: Mindanao, Bayesian, Joint Inversion, InSAR, Teleseismic, Kinematic

台灣西南部 GPS 時間序列分析與地表運動行為探討

楊晟右、張午龍、邱紀瑜

國立中央大學地球科學系

摘要

卡爾曼濾波器(Kalman filter)作為線性動態系統中的最優估計器，在GPS時間序列分析的研究中已行之多年。在以往的研究當中，由於積分隨機遊走(integrated random walk)能夠有效的模擬長周期的趨勢變化，因此在狀態空間模型(state space model)中常利用此一模型來表示GPS時間序列中的趨勢訊號，但此種趨勢模型是將斜率視為一隨機遊走(random walk)，因此若是斜率在短時間內有劇烈的變化，此一趨勢模型便不能有效的對此種訊號進行估計，而震後變形便是符合此一特性中最常見的訊號之一。由於震後變形的初期，斜率的變化是非常劇烈的，因此，常會發現利用積分隨機遊走作為趨勢模型會造成震後變形的過度平滑，此一問題會導致震後變形初期的低估，並間接的影響到同震位移的估計。因此，不同於積分隨機遊走模型將加速度視為白噪音，此研究中提出在震後利用一階自回歸模型AR(1)將加速度引入狀態空間模型中，以解決震後變形過度平滑的問題，提升震後及同震變形估計上的準確性。此外，本研究將卡爾曼濾波器估計之瞬時速度場用於應變率之計算，以提供台灣西南部地區於2016年美濃地震前後之地表變形的另一種觀測數據。

宜花地區地表變形長期監測與分析

錢正明¹、吳上智¹、張有和²、林正中³、李在平³

(1)工業技術研究院材料與化工研究所、

(2)國立東華大學自然資源與環境學系、

(3)台灣電力股份有限公司

摘要

針對台灣板塊邊界地震頻繁之宜蘭、花蓮地區，整合國內相關單位既有之GNSS連續觀測站，加密佈設新的GNSS連續觀測站，利用近50站的觀測紀錄資料，解析區域地表水平向與垂直向位移速度場長期變化趨勢，進而探討研究區域地質環境的穩定性。

累積觀測成果分析顯示，靠海岸地區如宜蘭平原、海岸山脈一帶垂直速度場的變動趨勢為明顯沉陷，靠山區的部分則是明顯抬升。水平速度場則約以花蓮和平地區為速度場方向變化的轉折中心，呈現一個順時針的轉向變化。此一現象與本區域已知的地體架構，及地殼板塊運動方向相呼應。

應力應變場及地殼變形速率的分析結果顯示，南澳至和平間有壓縮變形區域分布；而在和平至花蓮間，則是以伸張或走滑變形為多，顯示並非整個區域都屬於張力變形的地質環境。由於新設GNSS站時間序列大都短於2年，仍需持續蒐集更長時間的監測數據，確認壓縮變形區域是否存在。

經篩選111年1至11月間鄰近區域地震規模大於 6.0 的 7 例地震，探討同震變形的影響性，結果顯示無論是近海隱沒帶地震或陸上地震，本區域內的各GNSS連續站都沒有顯著的同震變形之紀錄。

關鍵字：地表變形、長期監測、宜花地區

Monitoring of Ground Deformation in Yangon City, Myanmar Using InSAR Imagery

Saw Myat Min¹、Yu, Wang²、Lin, Yunung Nina³、Win Naing⁴

(1) Department of Geosciences, National Taiwan University、(2) Department of Geosciences, National Taiwan University、(3) Institute of Earth Sciences, Academia Sinica、(4) Department of Geology, University of Yangon.

Abstract

Yangon is the former capital city of Myanmar, located in the southernmost of the Bago Yoma range, and is bounded by the Yangon River and the Bago River. In the past century, the city of Yangon has expanded from its core area built above an anticlinal crest to the adjacent low-lying flood plain, with current population of more than 5 million in its metropolitan. Due to the rapid population and economic growth in the past decade, and the insufficient public water supply system to cover the whole metropolitan, large portion of people in Yangon use groundwater from their private wells as their major water supplies. The lack of proper groundwater regulations, and the increase usage of the groundwater extracted from the low-lying flood plain thus increase the risk of land subsidence and flood hazards in the low-lying Yangon city. In this study, we focus on monitoring of the long-term ground deformation of Yangon city using Interferometric Synthetic Aperture Radar (InSAR) techniques. To determine the deformation within the Yangon city, we use Sentinel-1 SAR data from 2015 to 2022 to conduct InSAR analysis, including both ascending and descending data in our study area. Our preliminary analysis results using data from 2015 to 2016 suggest that part of the Yangon city is facing a high subsidence rate, especially in the eastern part of the Yangon metropolitan area. For the core area of Yangon city, the ground subsidence rate is much less significant, as the city is built on the Pleistocene formations exposed along the anticline. This observation echoes the findings of previous InSAR analysis of Yangon and matches to the distribution of the groundwater level drop in the city. We hope the result from this research will help us to mitigate the future potential for land subsidence in Yangon city.

應用 Google Earth Engine 於環境變遷之監測評估-以 2022年歐洲熱浪為例

蔡佳穎¹、呂喬茵¹、張志新¹

(1) 國家災害防救科技中心

摘 要

衛星遙測技術具有可快速掌握大範圍地理空間數據之優勢，利用多期衛星影像可進行地形地貌變化之比對，使遙測技術在環境變化監測及自然災害監測的應用上已相當廣泛。由 Google 所開發之雲端地理資訊分析平臺 Google Earth Engine (以下簡稱 GEE)，可提供免費之全球衛星遙測影像資料及雲端計算服務，以快速地進行多時序各類影像資料分析，了解長期的環境變遷與監測並進行自然災害之初步評估分析。本研究將運用由 GEE 提供的多時期中級解析度成像分光輻射度計 (Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer, MODIS)，利用其提供之 MOD11A1、MCD64A1(006)、MOD13Q1、MOD11A2 等產品編號，預測全球尺度下自然及人為所造成的環境變化。以 2022 年歐洲熱浪為例，受全球暖化造成之極端天氣影響，歐洲夏季在 6 月至 8 月期間出現極端高溫的現象，並伴隨著嚴重乾旱與森林大火，造成當地嚴重的傷亡與損失，利用 MODIS 進行地表溫度演算法、植被指數、植被健康指數等評估指標分別進行地表溫度、野火、乾旱等議題分析，成果顯示出現 40 度以上高溫之區域多集中於西歐及南歐，且與野火、乾旱明顯分布之區域大致相符。

關鍵字：Google Earth Engine (GEE), 衛星遙測, MODIS, 2022歐洲熱浪

Coupling of dissolved organic carbon, sulfur and iron cycling in Black Sea sediments over the Holocene and the late Pleistocene

Pei-Chuan Chuang¹、Andrew W. Dale²、Verena B. Heuer³、Kai-Uwe

Hinrichs³、Matthias Zabel³

(1)國立中央大學地球科學系、(2)GEOMAR Helmholtz Centre for Ocean Research Kiel, Wischhofstr. 1-3, 24148 Kiel, Germany、(3)MARUM – Center for Marine Environmental Sciences, University of Bremen, Leobener Str. 8, 28359 Bremen, Germany

An understanding of how the coupled cycles of carbon, iron and sulfur in sediments respond to environmental change throughout Earth history requires the reconstruction of biogeochemical processes over a range of spatial and temporal scales. In this study, sediment cores from the southwestern Black Sea were analyzed to gain insight into past changes in biogeochemical processes with particular focus on the cycling of dissolved organic carbon (DOC). The porewaters displayed high concentrations of DOC, acetate, dissolved iron and an extended depth interval over which sulfate and methane were both present. The historical fluctuations of the fluxes of carbon, sulfur and iron species at the seafloor that led to these present-day geochemical profiles, and which cannot be easily interpreted from the measured data alone, were hindcasted with a reaction-transport model. The model suggests that the inflow of Mediterranean seawater impacted the rain rate and reactivity of organic matter reaching the sediments, which shifted the sedimentary redox regimes throughout the Holocene that now are reflected on different lithology units. The ratio between DOC and dissolved inorganic carbon (DIC) flux to the bottom water decreased from ~40% before the inflow of Mediterranean water to ~2% at the present day. Intense sulfur and iron cycling mainly took place in the organic-poor freshwater deposits, today characterized by high concentrations of dissolved iron and methane. In contrast to previous studies in similar environments, anaerobic oxidation of methane coupled to the reduction of ferric iron was negligible. The results have broad implications for coastal environments that are currently experiencing deoxygenation and seawater intrusion and also for understanding the role of DOC in the sedimentary carbon cycle.

Keywords: Dissolved organic matter, Sulfate reduction, Iron reduction, Early diagenetic modeling, Black Sea

Productivity and carbonate burial variations during the late Miocene in the Pacific sector of the Southern Ocean

Yuen Tung Kiki Wan¹、Huei-Ting Lin²、Li Lo¹

(1) Department of Geosciences, National Taiwan University

(2) Institute of Oceanography, National Taiwan University

Abstract

Mass accumulation rate (MAR) of calcium carbonate (CaCO₃) and biogenic opal in marine sediment reflect the variations in biological productivity and preservation of the ocean through time, influenced by climate and ocean circulations. The Antarctic ice sheet forcing might be responsible for drastic changes globally during the late Miocene. Late Miocene carbon isotope shift (LMCIS), a long-term negative 1‰ shift globally, occurred between 8.3 and 5.5 million years ago (Ma). About the same period, late Miocene cooling (LMC) happened around 7 to 5.4 Ma. LMC culminated with ocean temperatures dipping to near-modern values.

Our study reconstructs the biogenic productivity using the sedimentary carbonate and opal content in the Pacific sector of the Southern Ocean. Major samples are from sites U1541 and U1543 obtained during the International Ocean Discovery Program (IODP) Expedition 383. Our objective is to comprehend the relationship between the surface productivity of CaCO₃-biogenic opal and the environmental conditions during the late Miocene.

CaCO₃ and opal MAR sustained a negative relationship during the late Miocene, except 6.0 to 5.5 Ma. Between 8.3 and 6.0 Ma, The CaCO₃ MAR decreased while opal increased. CaCO₃(opal) MAR reached a relatively high(low) point in 7.6 Ma, then started to drop(rise). It is worth noting that this time point was the onset of LMCIS. The end of the carbonate crush (opal rise) was about 7 Ma, which was the onset of LMC. We speculate that the decreasing carbonate and increasing opal trend are related to the intensification of upwelling and the decreasing sea surface temperature. Also, the carbonate crush may have a strong impact to the LMCIS event.

Key words: late Miocene, Southern Ocean, productivity

基於有機生物標幟物海水溫度指標重建過去兩千年東海 百年時間尺度水文及氣候變化

許婷煊^{1#}、陳明德^{1,2}

#sharon.860918@gmail.com

(1)國立臺灣海洋大學地球科學所

(2)國立臺灣海洋大學海洋工程科技中心

摘要

東海的區域水文和氣候變化主要受到東亞季風、黑潮、黑潮西邊支流、臺灣暖流、中國沿岸流以及長江淡水等機制的影響，根據現代觀測資料顯示，東海的年平均溫度約為 23.7°C，其中冬季的平均溫度為 14.7°C，夏季的平均溫度則為 27.4°C。東海陸棚區於冬季時，其海水表面溫度 (Sea Surface Temperature, SST) 會受到東亞冬季季風帶來的冷空氣及中國沿岸流的影響而降低。此外，東海陸棚區的次表層海水溫度 (Subsurface Water Temperature, SWT) 則會受到終年由南往北流的黑潮產生的支流及臺灣暖流的影響而升高。然而，東海區域缺乏過去兩千年來高時間解析度的氣候及水文資料，推估未來氣候變遷將產生高度不確定性。本研究以取自東海陸棚的重力岩心 CJ121279 作為研究材料，運用有機生物標幟物指標 - 烯酮類不飽和度 (Alkenone Unsaturation Index) U_{37}^k 與酯質異戊二烯甘油二烷基甘油四醚 (GDGTs, Glycerol Dialkyl Glycerol Tetraethers) TEX_{86} 進行分析，以重建東海地區近兩千年以來百年時間尺度的水文及氣候變化。本研究利用岩心底棲有孔蟲殼體碳十四定年建立年代模式，並透過 Calib 8.1 將碳十四定年資料校正為曆年，本研究再利用 COPRA 進行年代誤差的處理與估計。研究結果顯示本岩心的 U_{37}^k SST 變化範圍在 23.0 °C 到 26.7 °C 之間，而 TEX_{86} SWT 的變化範圍在 17.9 °C 到 20.4 °C 之間。岩心的 BIT 指標的變化範圍為 0.05-0.12，顯示本岩心中陸源有機物的成分較低。本岩心 U_{37}^k SST 紀錄顯示從中世紀暖期 (Medieval Warm Period, MWP: 1150-650 yr BP) 過渡至小冰期 (Little Ice Age, LIA: 550-100 yr BP) 期間溫度呈逐漸下降的趨勢，可能與火山噴發物增加導致地表接收的太陽輻照度減弱，此時寒冷的氣候使東亞冬季季風強度增強或持續時間加長，同時中國沿岸流的增強使大量長江淡水往南輸送於東海表面形成淡水層，故本岩心的 TEX_{86} SWT 與 U_{37}^k SST 呈現反向變化。本研究結果顯示東海高解析度岩心之 U_{37}^k SST 與 TEX_{86} SWT 有助於重建過去兩千年以來受火山爆發與太陽輻照度影響下的東亞冬季季風、長江淡水輸出與黑潮等因素間百年時間尺度的交互作用。

Iodine-129 time series records from coastal Taiwan

G. S. Burr¹, H. Matsuzaki², Bo-Shian Wang³, Robert Jiang⁴

(1) Department of Geosciences, NTU (2) Micro Analysis Laboratory, Tandem Accelerator, University of Tokyo, Japan (3) National Academy of Marine Research, Kaohsiung (4) New Ocean Researcher 3 Marine Instrument Center, NSYSU

We present published and unpublished $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ time series data from three coastal sites around Taiwan, collected bi-monthly between 2018-2020. The goal of the project is to produce continuous 5-year time series records for all of the sites. These include: 1) Kaohsiung (southwest coast), 2) Zhuwei Fishing Village (northwest coast), and 3) Yehliu (north coast). Seawater ^{129}I time series and vertical profiles in the ocean reflect differences in surface ocean circulation that are distinct for these three sites. More than 99% of surface seawater ^{129}I is anthropogenic and it is very sensitive to upwelling because surface water $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ is about 50 times higher than at depth in the South China Sea. This fact explains uniform low $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ values at Kaohsiung as compared to average SCS surface seawater values. The Yehliu site is characterized by relatively stable $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ values year-round that are inherited from the Kuroshio Current, while the Zhuwei site exhibits marked seasonal variability, with pulses of very high $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ in the spring and summer that we ascribe to transient cross-strait currents.

During the course of this study we explored several methods to quantify the amount of iodine in our seawater samples, including an iodine-selective electrode, cathodic stripping voltammetry, and UV-visible (UV-vis) spectrophotometry. The UV-vis method has emerged as the most useful as it is very sensitive and non destructive. We have developed a sample processing technique that replaces chloroform with hexanol to extract iodine from seawater. This change makes our chemical processing significantly safer for students and staff, as chloroform is a known carcinogen and is toxic, while hexanol is relatively benign.

以 EOF 分析亞馬遜盆地 GRACE-FO 等效水高之時空變化 An EOF Analysis of the Spatial and Temporal Variations of GRACE-FO Equivalent Water Height in the Amazon Basin

李宏慶(Hong-Ching Lee)¹ 鄭凱謙(Kai-Chien Cheng)¹

(1)國立中正大學地球與環境科學系

摘要

亞馬遜盆地涵蓋了全球最大的熱帶雨林，其水文系統對地球重力場與全球氣候變遷都有顯著的影響。因受到複雜的地形條件難以直接監測，許多研究都利用美國太空總署(National Aeronautics and Space Administration, NASA)與德國地球科學研究中心(GeoForschungsZentrum, GFZ)共同推動的 GRACE-FO (Gravity Recovery and Climate Experiment Follow-On)衛星計畫來進行。主要利用兩個在共同軌道上相距約 220 公里的近地表低軌衛星，以 K 波段的測距原理進行全球的星載重力測量，能夠觀測到地球重力場與重力的時間變化量。GRACE-FO 計畫可以提供重力相關資料，如：以球諧函數(Spherical Harmonics)提供的地球重力場、地表變形量 (GRACE-derived Displacement, GDD)與等效水高(Equivalent Water Height, EWH)等。等效水高即為地表水和地下水以及冰川的總和，反應該地區的水總量。然而 GRACE-FO 原始觀測值轉換成等效水高中會產生多種雜訊，如：映頻混擾(aliasing)，同時還需修正大氣壓力、溫度、海潮等效應，移除地震與構造活動的影響等。由於等效水高為眾多頻率不同的信號總和，因此我們使用經驗正交函數(Empirical Orthogonal Function, EOF)從整體的資料中分解互為正交且不同頻率的時空信號，所得的前幾個主要模態能顯示亞馬遜盆地重力與水文的主要變化模式，協助理解水文和氣候規律。

本研究使用美國德州大學奧斯汀分校太空研究中心(Center for Space Research at The University of Texas at Austin, CSR)提供的 2019-2021 年 GRACE-FO 等效水高資料。本研究發現在第一模態為周年性的等效水高且其空間分佈位於在亞馬河道與支流上，占比約 41%。而在第二模態上，也反應了周年性等效水高，但空間上則以亞馬遜河為界呈現南北相異的反向分佈，其占比約為 36%。此外，第一、第二模態的時間序列都展示出明顯的季節變化且有很高的負相關性，相關係數約為-0.64。前兩組模態的占比約為 77%，能顯著地代表亞馬遜盆地大部分的等效水高變化，年變化週期也與已知的亞馬遜地區明顯的乾、濕季一致，前兩個模態的空間分布也與其他研究結果大致相同。

三義丘陵紅壤化學風化指數及其地形上之意涵

Chemical weathering indices of the red soils in Sanyo hills and their geomorphic implication

陳玟岑¹、黃文樹²、黃旭村^{1,*}

¹國立臺中教育大學科學教育與應用學系、²國立中正大學通識教育中心、*通訊作者

摘要

苗栗丘陵南端的三義地區，具有許多因地殼抬升而發育的高位地形面，這些高位地形面多缺乏絕對定年資料，造成地形對比上的困難或迥異的推論，其地形面的生成與古大安溪、古西湖溪之關係，以及後續受到新期構造運動的影響，迄今雖有不少研究討論，但仍未有明顯定論。本研究在三義地區的地形面，採取了9個代表性土壤剖面(SY-1、SY-2、SY-3a、SY-3b、SY-3c、SY-3d、SY-3e、SY-4、SY-5)，涵蓋了主要地形面，藉由土壤化育形態特徵與化學風化指數等性質，探討各土壤的化育程度，進而探討各地形面的相對年代對比，作為探討地形演育與新期構造運動的關係。研究結果顯示，三義丘陵等九個土壤樣體的厚度約在0.5~5公尺，其形態特徵顯示具有強烈的化育程度，多數的土樣均具有淡色表育層，顏色上，土色多介於紅棕色到紅色 (red) 之間，紅化程度高，顏色在7.5YR 到2.5YR間，土壤具中到強度稜塊狀構造，有明顯的洗出、洗入作用，可觀察到黏粒膜，具有黏聚層等化育微型態等特徵，藉土壤化育等特徵可轉化為化育指數 (HI)，其HI數值為0.53~0.67約呈兩群分布，分別為三義丘陵北一群與南一群。其次，從全量元素豐度與化學風化指數 (CAI) 分析來看，CAI數值為78~86，此土壤化學風化狀況也顯露與土壤化育的北一群與南一群的兩群分布現象。故，由土壤化育程度與化學風化來看，土壤相對年代對比約為150~280Kyr，其意涵著三義丘陵的地形演育，可能是由兩群不同沉積物來源所形成，爾後受東南往西北活動的新構造運動影響形成各地形面。

中文關鍵字：元素豐度、土壤化育、化學風化指數、地形演育

Keywords: elemental abundance, pedogenesis, chemical index of alteration, geomorphic evolution

地方特色地質網之開發與未來願景

Local Geo-Specialty Website Develop and Future

劉明哲¹、朱寅伶¹、劉羽珊²、陳政恒²、蘇祐鼎²、黃芷馨²、郭麗秋²、侯進雄²
Ming-Che Liu¹, Yin-Ling Chu¹, Yu-Shan Liu², Cheng-Heng Chen², Yu-Ting Su²,
Chih-Hsin Huang², Li-Chiou Kuo², Chin-Shyong Hou²

(1)凌網科技股份有限公司、(2)經濟部中央地質調查所

(1)Hyweb technology Co. LTD.、(2)Central Geological Survey, MOEA

摘要

臺灣擁有多樣的地質景觀，各界對於其形成與演育進行調查研究，累積豐富的地質文獻；經濟部中央地質調查所（以下簡稱地質調查所）建置臺灣地質知識服務網（以下簡稱知識網）有20年以上的歷史，民國91年建置第1代知識網，以地質文獻查詢為主要用途，並配合當時資訊趨勢開始設計與使用者共建共享機制，逐步累積數萬筆各類文獻、地質書籍、圖資、照片、影音與地質相關新聞資料。知識網底層以Java語言，採N-Tier架構為主，輔以Text Mining、Classification、Clustering提供更多面向資料體驗。為求使用者更好的使用體驗，於107年知識網升級為響應式網頁設計（Responsive web design, RWD）平台，提供在不同行動裝置都能有一致的內容與操作行為。

地質景觀所具備的美學與遊憩價值，為地方的意象與精神；臺灣地質知識網絡推動計畫逐步轉為以「主題式知識」與「地方性議題」分類提供地質資料，能更簡化、準確地提供民眾認識當地地質的專業知識、地質公園或突發地質事件的地質新聞、歷來地質調查研究成果與影像紀錄。配合地質調查所推動地方特色地質及創意地質旅遊路線，108年起著手開發「地方特色地質網」，強化地區分類的資訊呈現，突顯知識網地質知識樹中之地方區域節點之架構與功能。地方特色地質網提供民眾以不同載具快速找尋地方地質知識，透過活潑、互動的地圖，輔以LBS提供民眾旅遊時，隨時瞭解當地特色地質景觀，未來期望有更多資源投入，結合地質旅遊路線，持續精進資訊環境、主題式知識建置及地方性議題更新，以提升知識網站供應地質知識之效益。

關鍵字：地方特色地質網、地質知識、響應式網頁設計、資料庫

Keyword：Local geo-specialty website, Geological knowledge, Responsive web design,
Database

**Investigating the morphotectonic evolution of Chiayi-Tainan area based on
geomorphometry and fluvial terraces**Hsiao-Ting Fang¹、Maryline Le Béon^{1,2}、Chia Yu Chen³

(1) Graduate Institute of Applied Geology, National Central University、(2) E-DREAM Research Center, National Central University、(3) Department of Earth and Environment Science, National Chung Cheng University

Bedrock channels are the bridge between tectonics and landscape evolution. Tectonics can be a key to create the topography, while bedrock channels are the main driver of erosion and sediment transport. Therefore, bedrock channels are not only used to demonstrate how structural and climatic factors respond to landscape evolution in a large scale, but also to evaluate the reconfiguration of the drainage basins due to divide migration and explore the dynamic evolution in the past and future. Geomorphic indices have been developed as powerful tools to extract anomalies within river basins and help us explain the possible landscape evolution. Owing to our observations from DEMs and previous studies in Chiayi-Tainan area, there are remains of large alluvial geomorphic surfaces located downstream a series of small basins at the front of the Dajianshan-Chukou fault. However, the divide of the present rivers only reach the toe of the mountain. As catchment size is proportional to fan size, the present rivers appear too small to be the sources of the large alluvial geomorphic surfaces, suggesting that the rivers probably changed path due to tectonic activity. There are two purposes in our study: (1) investigate the appropriate source of the large alluvial geomorphic surfaces, and (2) derive the system response time and perturbation causes. We use the fluvial geomorphic index χ to assess the dynamics of the river basins that flow on opposite sides from the divide, such as the Qingshui River basin and the Peikang River basin. Combining χ with the channel steepness index, observations of shaded topography and published geological maps, we try to find the potential wind gaps as the evidence of the changed river paths and evaluate the impact of tectonics. Finally, based on dating datum from previous studies and soil categorizations, we will propose a morphotectonic evolution for the Chiayi-Tainan foothills.

Keywords: Bedrock River, Landscape Evolution, Geomorphic Index χ , Steepness Index

地質地形圖資於地方文史之應用

Geological and topographic data applications on local cultural and historical research

陳政恒¹、趙英芳¹、劉羽珊¹、蘇祐鼎¹、黃芷馨¹、古淑卿¹、張璫心¹、黃子芸¹、
郭麗秋¹、侯進雄¹

Gem-Heng Chen¹, Ying-Fang Chao¹, Yu-Shan Liu¹, Yu-Ting Su¹, Chih-Hsin Huang¹,
Shu-Ching Ku¹, Li-Xin Chang¹, Tzu-Yun Huang¹, Li-Chiou Kuo¹, Chin-Shyong Hou¹

(1)經濟部中央地質調查所

(1) Central Geological Survey, MOEA

摘 要 / Abstract

使用經濟部中央地質調查所「地質騰雲網」地質與地形圖資，結合地方文史材料，可以作為國中小環境教育的教材，也可提供地方創生與觀光的深入材料。

本文以新北市中和與三峽的幾所國小附近的發展實例，作為地質地形圖資在文地方文史發展的例證。

By utilizing the geological and topographic maps from the digital system of Central Geological Survey, along with local historical materials, they can be used as teaching materials for environmental education in elementary and junior high schools, as well as providing in-depth materials for local revitalization and tourism.

This article uses examples of development near several elementary schools in Zhonghe and Sansia districts of New Taipei City as evidence of the integration of geological and topographic maps with local historical development.

關鍵字：地質騰雲網、地質圖、古地形圖、地方文史

Keyword：GeoCloud system, geological map, ancient geotopographical map, local culture and
historical development

以3D掃描建模建構地質影像加值景觀資產之嘗試

Attempting to Enhance Geological Scenery Assets through 3D Scanning Modeling

蘇祐鼎¹、劉羽珊¹、郭麗秋¹、莊勝傑²、林建緯²、古佳慧²、王豐仁²、黃柏鈞²、高玉惠³、侯進雄¹

¹經濟部中央地質調查所、²臺灣省應用地質技師公會、³中興測量有限公司

Yu-Ting Su¹, Yu-shan Liu¹, Li-chiou Kuo¹, Sheng-chieh Chuang², Jian-Wei Lin², Chia-hu

Ku², Feng-Jen Wang², Bor-jiun Huang², Yu-Hui Kao³, Chin-shyong Hou¹

¹Central Geological Survey, MOEA、²Taiwan Association of Professional Applied Geologist、

³Chung Hsing Survey Co.

摘要 / Abstract

臺灣地質知識網絡推動計畫為架構出系統性的地方特色地質資料，持續典藏或建立多元型態之地質產品，其中一項為地質景觀3D掃描建模點雲資料，110至111年間，測試完成4處不同類型景觀，同步以空拍與地面拍攝紀錄，期望在環境變遷下累積不同時空之地質影像，提供各界認識、觀察或使用，增進地質/自然文化資產之加值應用。

點位篩選係參考地質敏感區、地質公園、地景保育、百大地質旅遊路線及具文史保存性地質場址等。4處場址為高雄烏山頂泥火山、嘉義瑞里蝙蝠洞、新北金瓜石本山五坑坑道及臺東卑南利吉惡地，依特性分地面光達、無人機空載光達等設備拍攝施作。以本山五坑坑道場址為例，本區採地面光達，測線總長約210公尺，掃描流程為顧及各站掃描時的點雲密度與精度，站間採約4公尺固定間距。因掃描出的點雲資料是建立於測站相對坐標系統上，各站資料是使用共軌點自動各站資料拼接，以確保兩站掃描的共同區域可以取得可判釋的特徵。最終於資料拼接完成後，將各站點雲資料輸出檢查各站資料是否於接合誤差內，無誤即可進行後續影像展開作業。

3D掃描建模技術能快速獲取被監測物完整的三維空間資訊，俾利於地質活動頻繁、侵蝕旺盛的環境紀錄及量化不同時空下地質景觀的地貌變遷。因此無論是作為研究的小區域範圍內微構造分析資料，以及地質資產數位保存，或將該空間資料再利用公開，透過線上3D地景模型展示提供民眾異地線上參觀的便利性與旅遊路線規劃之參考。但侷限於初步小規模的測試，無法完善廣泛施作及訂立地質景觀點位篩選條件，未來有待相關經費的投入。

關鍵字：臺灣地質知識網絡、地質景觀、地質旅遊、3D雷射掃描、點雲

Key words: Taiwan Geoscience Network, geological tourism, geologic scenery, 3D Laser Scanner, point cloud

Active-source seismic tomography for geothermal exploration in Hongcailin, Ilan area, northeastern Taiwan

Huang, Hong-Mao¹, Huang, Hsin-Hua^{1,2}, Lin, Cheng-Horng^{1,2}, and Lee, Jian-Cheng¹

(1) Institute of Earth Sciences, Academia, Taiwan、(2) Department of Geosciences, National Taiwan University, Taiwan

Abstract

Geothermal energy is a sustainable and low-emission energy source with the potential to mitigate climate change and enhance energy security. It presents a promising alternative to traditional fossil fuels or electronic energy. The Hongcailin area in Ilan, Taiwan is found a potential field for geothermal energy in recent years. To detect the potential geothermal fields in the Hongcailin and other areas of Ilan, two seismic arrays were deployed from August 2022 to January 2023: One is the Ilan array composed of 81 geophones covering the whole Ilan area; the other is the Hongcailin dense array composed of 186 geophones in a 5×4 km area around the potential geothermal field. A vibroseis experiment was operated at various points and directions across the arrays with 12-second sweep-frequency signals from 6 to 96 Hz. To pick the vibroseis P-wave arrivals, the sweep signals are removed from the raw waveforms by the cross-correlation method. Waveforms from repeated shots are stacked to improve the signal-to-noise ratio. We compare multiple picking methods and find that Recursive-STA/LTA with time derivative gives the best fit to the arrival onsets by visual inspection. Additional criteria are made of removing the incorrect and low-accuracy picks. A total of 13955 P arrivals was used for seismic tomographic inversion. The preliminary results show several low-velocity anomaly zones consistent with resistivity imaging, which demonstrates the seismic tomography a potential tool for geothermal exploration. However, the resolvable depth of the active-source tomography is limited to about 1.2 km. For further deep geothermal exploration (>2 km), shallow microseismicity or ambient noise cross-correlation data will be needed, which are the future extension of this work.

大台南地區場址效應及其與地質構造之關係

Site effect and its relationship with geological structure in Tainan

楊志揚¹、饒瑞鈞¹、吳澄峰¹

¹ 國立成功大學地球科學系

摘要

本研究針對大台南地區，由西至東分別是西部平原、台南台地、大灣低地以及麓山帶進行細部場址效應分析，並探討台南場址效應與地質構造之間的關係。過去台南地區所發生的災害性地震，除了 1946 年的新化地震之外，震央皆未發生在台南之內，但是對台南卻造成程度不一的破壞，像是 2016 年的美濃地震。位於表層的台南層根據前人的研究，厚度在台南台地之上約 16~36 公尺，並向西增厚至安平最深可達 170 公尺。因台南地質條件主要為厚層的現代沉積物，其表現的共振頻率以及放大倍率差異，在震波通過時於不同地點造成不同的影響。當震波的頻率和地區的主頻一致時，所形成的共振使地震的震幅放大，導致破壞程度提高。並且我們將藉由得到的主頻與放大倍率來計算不同地區的脆弱性指數 (Kg)，以此來驗證此指數是否可合理的應用於土壤液化潛在程度的指標。本研究對大台南地區進行了場址效應的調查，資料使用由 2021 年 2 月 2 日至 2021 年 6 月 15 日，總共 173 個站為期 1~3 個月的環境噪訊(微地動)。主要利用這些資訊進行 HVSR (horizontal-to-vertical spectral ratio)的分析，並以 Kmeans 來進行群集分析。針對長時間(幾日)的資料和短時間(幾個小時)的資料進行比對，並且將整日 24 小時的資料以每小時進行分析。由此評估微地動所做的 HVSR 是否會隨時間變化，以及驗證短時長之微地動所做出來的結果是否可信。另外，將這 173 個站所做出來的資料與鄰近之強震站進行比對，以確認其結果是否正確。上述所得之主頻，將其與陣列反演所得之地層速度一同計算，以此得到地層厚度。並將此結果與地調所提供之鑽井調查相互結合來判斷微地動所得之主頻和鑽井資料是否吻合。

結果顯示各地區的場址效應與地層地質存在一定的相關性。因整體大台南地區表層包含了大量的沉積物，這大大影響了 HVSR 的表現，可以在各個區域觀察到不同頻率的峰值。台南地區的地層主要包含兩個放大主頻，分別為 0.2 Hz 與 1~3 Hz。其中平原以及大灣低地 0.2Hz 的頻率為當地主頻，而台地及麓山帶則是 1~3Hz 為當地主頻，並且相較於平原區域，台地上的震波放大倍率相對較高。此結果顯示了台南在面臨地震災害時，各個地區皆會面臨震波放大的現象，且不同地區表現的震波放大頻率也有所差異。因此對於台南地區而言，沉積層所引起的

場址放大特性對於地震風險評估存在一定的重要性。未來我們會將利用地震事件來進行 HVSR 的分析(HVSR of earthquakes [eHVSR])，以此來驗證微地動和真實地震事件所做出來的 HVSR 結果是否相符，又或是者兩者之間存在甚麼樣的差異性，是否會因為鬆軟的沉積土層而影響了 HVSR 的放大正確性。

關鍵字:

場址效應、單站頻譜比法(HVSR)、微地動、環境噪訊、土壤液化、脆弱性指數 (Kg)

Site effect, Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSR), microtremor, ambient noise, liquefaction, seismic vulnerability index (Kg)

- (1) 就讀學校/指導教授:國立成功大學/饒瑞鈞
- (2) 學位/年級:碩士/一年級
- (3) E-mail/手機號碼:yys692999@gmail.com

空中重力磁力聯合探測初步測試

郭泰融¹、董倫道¹、錢正明¹、李柏村²、陳棋炫²

工業技術研究院材料與化工研究所，新竹

經濟部中央地質調查所，新北

摘要

空載地球物理具備快速及不受地形影響之優點，世界許多國家都把空中磁力、重力等探測資料視為國家基礎調查的一部分，與地形圖、地質圖並列為國家重要的基本資料，可提供地質構造、地下水探測、礦產資源、地熱資源等相關調查研究使用。經濟部中央地質調查所自 2012 年引進空中磁力探測技術以來，已陸續完成台灣北部地區、花東縱谷、海岸山脈及中央山脈東翼等地區磁力異常圖幅，補足過去人力難以到達區域的地質構造形貌，並提供更完整的地質構造資訊，成果豐碩。雖然空中磁力探測的成果豐碩，但資料型態僅限於地下岩石的磁感率分布情形，若可再補充地下岩石密度在空間中的分布資訊，透過兩種不同物理特性資料的交叉比對驗證，將可提供更完整的地下地質構造形貌。

重力量測是一項相當精密的探測方式，在地面進行野外作業時須搭配高精密的高程量測並避開地表振動源，以獲得微小的重力加速度變化，進一步分析了解地下的岩石密度差異。相對於地面重力量測，空中重力量測受到相當多的雜訊干擾，造成這些雜訊的來源包括：飛行載具的震動、飛行的姿態、飛行方向、飛行高度等，這些雜訊遠大於地層密度造成的微弱重力加速度差異，如何從看似雜亂無章的量測資料中擷取出具備地質構造意義的信號，是空中重力資料處理的一大挑戰。

本研究利用經濟部中央地質調查所於 2021 年引進空中重力探測設備，選擇位於花東縱谷中部的池上、南橫公路地區約 500 平方公里的範圍，進行我國首次的空中重力磁力聯合探測試驗。在飛行載具方面，配合我國多山的地形特性，使用直升機作為空中重力磁力聯合探測的載具，以類地形飛行的方式飛行量測，以獲得更高解析度的資料。本研究為國內首次進行空中重力磁力聯合探測，在野外作業及資料處理方式仍有改善進步的空間，但初步獲得的重力異常圖與磁力異常圖具備相當程度的相關性，顯示聯合空中重力磁力探測是可行的方式，值得持續進行以建立我國完整且高解析度的重力、磁力異常基本圖，提供地質專家學者在地質構造、地熱資源相關研究的重要參考資料。

。

。

關鍵字：空中重力、空中磁力、地質構造、地熱資源調查

以反方位角進行快速地震定位： 以臺灣外海為例

葉家豪¹、吳逸民¹

(1) 國立臺灣大學地質科學研究所

摘要

當地震發生後，一個快速且可信之震源位置與規模估算對於地震預警系統發布警報至關重要。其中震源位置之估算於現行中央氣象局地震預警系統中的定位流程分為兩步驟：先利用線性反演法求出震央位置後再利用格點搜尋法找出最佳震源深度。然而線性反演法取得震央位置有其侷限性，原因於：(1)震央位置若位於測站包覆較差的區域(如臺灣外海)則估算結果將無法迅速收斂(2)線性反演法仰賴準確的P波到時，較不確定的P波到時將解算出較低準確的震央位置(3)線性反演法需等待足夠數量之測站觸發後才可開始進行定位程序(4)若地震帶來之破壞使測站間訊號傳輸失效，將延誤震央的取得。本研究旨在對利用線性反演法在臺灣外海取得震央提供一替代方案，觀察包含住P波到時之時間窗內之水平方向上粒子動態情形，利用主成分分析(Principal Component Analysis, PCA)，取得粒子動態情形之主成分，藉以得到P波來向即反方位角，將至少兩個測站於接收到P波後估算之反方位角交疊，即能初步取得震央位置。本研究所使用之方法可在測站包覆差的臺灣外海地震作用良好。且單一測站接收到P波即可開始定位程序，無需考慮測站間訊號傳輸問題。階段性成果已初步取得單一測站反方位角，將嘗試分析不同位址之測站對估算反方位角之差異，並設計出快速取得震央之程序。取得震央位置後期望未來可結合其他更多定位方法，如等時差曲面、沃羅諾伊胞等，進一步提升地震預警系統中的震源位置估算。

關鍵字：地震預警、地震定位、反方位角、主成分分析

應用水下地電阻影像技術測繪挖仔尾紅樹林溼地

陳麗雯¹、劉興昌²

(1)國家海洋研究院海洋科學及資訊研究中心

(2)國立陽明交通大學防災與水環境研究中心

摘要

本計畫採用美國AGI所設計製造的SuperSting R8 Marine多頻道底質地電阻探測設備，於八里挖仔尾、淡水紅樹林等區域利用高密度水下地電阻影像掃描法(electrical resistivity tomography, ERT)探測濕地底床特性。本團隊規劃以500公尺長的浮水式及沉底式地ERT比較測繪成果，預期可藉長支距的沉底式調查得到深達10公尺以上的底質電性地層數據；此外，考量該區域為潮差水深差異甚大的區域，遂規劃於高、低潮時間點各測得一組ERT影像。因此，我們可以將兩種方式、兩種時段的是視電阻率資訊，經由去雜訊、順推模擬及二維剖面逆推出不同空間(水上/水下)、時間(高/低水位)的ERT剖面，以物理導電特性為出發點，了解目標區域的水域及海床底質特性，並討論其環境特徵與該區生態系統間的相關性。

井測資料的合成震波於探勘實務之應用

李健平¹、蘇俊陽¹

(1)台灣中油公司探採研究所

摘 要

合成震波比對是透過井測資料得到阻抗測錄，再與漣波進行迴旋計算得到合成震波，藉由與實際震測資料比對以建立一組時間-深度關係，做為將深度域井測資料套疊時間域震測資料之一種方法。在學理上，合成震波比對主要有四種目的：(1) 確認震測資料是否為零相位，(2) 透過井測資料的層面來延伸解釋震測剖面所對應的訊號，(3) 萃取漣波作為震波逆推與模擬之用，(4) 確認震測資料不同支距的振幅調整。在進行合成震波比對時，需注意漣波的選取、合成震波的壓縮與拉伸，以及透過合成震波與實際震測資料的相關係數來確認結果的好壞。本研究將探討合成震波比對的各要素，並透過不同井測資料來說明實務上合成震波比對需要注意之處，包含直井與斜井、探勘井與生產井等，可做為實際應用之參考。

重合前地質統計學震波逆推技術應用於儲層分布預測

-非洲 B 區塊

古佳艷、伍允豪

台灣中油公司探採研究所 地球物理組

摘要

隨著新鑽井的電測與生產資料逐步增加，非洲 B 區塊井間儲層之砂體橫向連續性比原先預期複雜。過去單純利用確定性聲波阻抗逆推技術或利用井插值算法完成的砂體模型預測，均無法滿足目前的解釋需求。主要原因除了儲層與非儲層的彈性特徵先天較為混置不容易區分，橫向上儲層砂體分布較破碎，垂向上儲層內含薄砂層等，均增加儲層分布預測的困難度。

本研究採用重合前震波資料地質統計學逆推(geostatistical inversion)研究方法，充分利用重合前部分重合(sub-stack)三維震波資料體所隱含大規模的岩相變化訊息，結合井測與岩心分析所得知岩性、彈性參數(如縱波阻抗、 V_p/V_s 、密度)、岩石物理參數(如孔隙率、砂頁岩比、含水飽和率)等關係輸入為先驗訊息(prior information)，經由地質統計學模擬求取數據相互之間空間統計學關係，建構各岩相的機率密度函數(Probability Density Function, PDF)分布，最後經由逆推運算完成多組三維地下岩性與孔隙率之概率體模型，完成對非洲 B 區塊的儲層(高孔砂體)分布預測。所計算結果受地質統計學模型約束、井資料約束，降低研究區地質變量的不確定性，同時提高垂向分辨率，大幅提升震波資料的定量解析能力。

關鍵字：地質統計學逆推、震波逆推、砂體預測

Keyword：Geostatistical Inversion、Seismic Inversion、Sand Body Prediction

台灣西南海域淺水區盆地構造研究

高經富 涂嘉勝 簡至暉 許庭瑄

台灣中油股份有限公司探採研究所

摘要

盆地的構造分布與發育歷史對油氣探勘非常重要，因構造的形成可以作為石油系統中的封閉要素，了解盆地的構造分布與演育歷史，除了能夠幫助我們了解有利的封閉構造位置，也能透過構造形成與油氣排放的時間順序來判斷石油系統是否能夠形成有效封阻，幫助我們評估石油系統品質與風險。

本研究使用台南盆地淺水區域震測資料進行震測解釋與斷層追蹤，定義了中生代基盤、中新世早期、中新世晚期與上新世晚期四個震測反射介面，並完成層面追蹤與解釋，以及 159 條斷層之走向與傾角方向之描繪。將上述震測解釋結果整合繪製成各個時期的等時間構造圖，與各個層面之間的等時間厚度圖，呈現台南盆地淺水區的構造型態與分布情形，藉此來了解與探討不同時期的盆地構造發育狀況。研究結果顯示台南盆地淺水區斷層形式以正斷層為主，大致可以區分為東-西走向與東北-西南走向兩種型態，顯示盆地內曾經歷兩次不同方向之張裂事件，其中東北-西南走向之斷層能延伸較長距離，推測約於古近紀開始發育；東-西走向之斷層延伸距離較短，於中新世中期開始發育。

關鍵字：台南盆地、盆地構造、油氣探勘

透地雷達應用於地下環境調查案例研究

鍾陳東、沈顯全、韓為中

Chen-Tung Chung, Hsien-Chuan Shen, Wei-Chung Han

台灣中油股份有限公司探採研究所

Exploration & Development Research Institute, CPC Corporation, Taiwan.

摘要

地球物理探勘利用儀器在地表進行非破壞性探測，如磁力、重力、電磁或震波測勘等方法。其中，透地雷達探測技術在地表對地下發射一種高頻電磁波，當地下物的介電常數發生變化時，電磁波產生反射現象而被地表所接收，由累積接收的反射訊號可分析解釋地下物的形貌與材料特性等。此技術在先進國家已廣為使用，依照探測天線頻率之高低不同，分別可應用於鋼筋位置調查、混凝土裂縫空洞調查、管線調查、空洞調查、地層層位調查、水中沉積物調查與考古調查等。

本研究應用不同頻率之合罩式透地雷達天線，針對基盤與管線分別進行調查工作，並依據場址特性規劃測線分布。透地雷達資料經過零點修正、背景移除、濾波和移位等資料處理後，得出地下雷達剖面圖。同時，藉由反射訊號在剖面上的形態特徵來辨識管線與基盤面等特徵。

研究顯示同一特徵物對於不同頻率之雷達波特徵差異很大，且可能會受到地質材料、施測方向等因素而影響。透地雷達應用於管線調查時，相較於 270 MHz 之雷達天線，應選擇 400 MHz 或更高頻率之雷達天線，其雷達波產生之特徵較有利於辨識管線訊號；應用於基盤調查時，雖 200 MHz 與 270 MHz 之雷達天線皆能辨識出強反射面訊號位置，但仍建議選擇較為高頻之 270 MHz 之雷達天線做為主要調查工作之首選。

中文關鍵字：透地雷達、地球物理探勘、非破壞性檢測、管線調查

英文關鍵字：Ground Penetrating Radar、Geophysical Survey、Non-destructive Testing、Utility Locating

運用音頻大地電磁法於池上地區之初探
Preliminary exploration in Chishang area by using
audio-frequency magnetotellurics

游峻一¹、葛岳淵²

(1)健行科技大學應用空間資訊系、(2)岳科應用地質技師事務所

摘 要

音頻大地電磁法是使用人造或自然的電磁場（電磁波）射入地層中，進入地層中的電磁場受地層導電性的影響，因電磁感應，產生次生電磁場，在地表測量此次生電磁場來分析地層中的電阻率。由於進入地層中的電磁場之穿透深度與電磁場頻率有關，頻率越低穿入越深。因此在地表，接收不同頻率的感應電磁場，代表來自不同深度的反應訊號，就可以分析淺至深的地層電阻率。

本研究於池上地區大坡池西北側的農田進行兩個測站的測勘，由探測結果可知此區的沖積層應該在100公尺上下，其下因地層電阻率皆大於800 ohm-m，根據之前受自來水公司委託之竹田井探測與鑿井之結果比對，研判沖積層下方應為變質岩類的電阻率，在本次探測之地層中應無利吉層之存在，此區地層詳細狀況如何，仍待更多的資料成果來分析。

Melting and volcanism of flat-slab subduction in Chile and Mexico – insights form numerical thermos-mechanical modeling

Ji-Ching Chen⁽¹⁾, Eh Tan⁽¹⁾

(1) Institute of Earth Sciences, Academia Sinica

Abstract

We explore flat slab subduction processes by using 2D thermo-mechanical models with Fast Lagrangian Analysis of Continua (FLAC) technology. We considered rheology of both elasto-plastic and visco-elastic deformations. To achieve the dehydration process during subduction, we parameterized the serpentinitized peridotite by transforming the peridotite into a fixed thickness and realized the magma formation by tracking the P-T (pressure-temperature) path of markers.

Our results indicate the Chile flat subduction model requires a relatively small amount of serpentinitized peridotites, which generates a thin low viscosity channel and a large pressure contrast between sub-slab mantle and mantle wedge, resulting in high suction force in the subduction system. The strong compression stress occurs in the top of the upper plate and subduction interface shows a strong coupling in the subduction system. Through the partial melting occurs continuously, the cold continental lithosphere leads to the rapid freezing of magma. Therefore, the Chile flat slab model does not show any volcanic arc on the surface. By contrast, the Mexico flat slab subduction requires a warm overriding plate with high convergence rate and a large amount of serpentinite on the top of the slab. The upper plate does not undergo any compression or extension process in the model. The melting sources in Mexico flat slab model change with time. The peridotite material is the predominant source of the magma chamber before the flat slab subduction develops. Sediment and basalt start to melt once the flat slab occurs, implying the existence of adakites. Our study suggests that the formation mechanism of flat slab subduction is different between Cocos and Nazca subduction zones.

Keywords: Numerical model, flat slab subduction

The porosity and density estimation from core XCT slice images

Hung-Yu Wu and Ching-Li Kuo

Department of Resource Engineering, National Cheng-Kung University, Tainan,
Taiwan.

ABSTRACT

Cores have become one of the most intuitive methods for understanding the properties of stratigraphy, density and porosity. These geophysical parameters are important affecting structure properties, so that the estimation of density and porosity of core analysis are the key measurements. In recent years, XCT (X-ray Computed Tomography) has become an increasingly common method for core analysis, and this non-destructive method can obtain similar results compared to traditional rock mechanical methods within a short period of time. The methodology of XCT is counting the vary CT values representing the different features of gas/ liquid and solid. In this way, the density and porosity of the unit profile are estimated.

The Department of Resource Engineering of National Cheng-Kung University drilled total of four research wells around the department and obtained three 20-meter-long cores and one 100-meter-long core. In this area, mudstone is widely discovered in Tainan plateau. Therefore, the conventional geological analysis is unable to identify the subtle pore changes and compositional differences in the mudstone. In this study, we use XCT technology to scan the cores in 1mm slices, and then use the raw data of each XCT image to analyze the possible pore space and the related fracture system. The real porosity and density of the cores can be estimated at 1mm resolution. Based on this result, we can use the relevant machine learning method to compare the well log data to correct the porosity and density estimated from the well log information.

量化分布於台灣水庫及西南海域沉積物中的塑膠微粒

徐紹巖^{1#}、潘惠娟^{1,2}、陳明德^{1,2}⁽¹⁾國立臺灣海洋大學地球科學研究所⁽²⁾國立臺灣海洋大學海洋工程科技中心#Jungle0814@gmail.com

摘要

20 世紀初期許多工業大國開始大規模生產塑膠製品，而這些無法被自然降解的塑膠在使用及廢棄的過程中不斷被磨損、侵蝕、分解成了許多體積渺小數量龐大的塑膠微粒，並隨著風吹、水流從陸地匯入河流與海洋當中，嚴重污染地球環境。研究指出，沉積物中塑膠污染主要來自兩種途徑，一種是塑膠微粒隨著污水排放進入河川、湖泊，陸續沉降於河海底部沉積物中；另一種則是漂流於水面上的塑膠廢棄物受風吹日曬、雨水和海浪的磨損逐漸形成塑膠微粒，最終沉降於海底。目前全球各地的沉積物中都已發現塑膠微粒的污染，但沉積物中究竟累積多少塑膠污染物至今仍是未知數。準確量化沉積物中所含有的塑膠污染物是瞭解塑膠污染源與匯的重要一環，然而目前提取沉積物中塑膠微粒的分析方法主要依靠化學溶解、過篩、密度層析與人為篩選的方式，此過程可能會導致樣本中塑膠微粒的型態破壞導致定量的誤差。本研究利用可見光-近紅外光反射光譜儀(350-2500nm)測量臺灣水庫及西南海域沉積物並進行塑膠微粒含量的定量分析，為建立準確的塑膠微粒濃度與特徵光譜變化之間的關係，本研究配製了一系列標準樣，將臺灣西南海域岩心 MD103264 過去 3 萬至 5 萬年間的沉積物作為基質，加入不同比例的聚乙烯 (PE) 與聚氯乙烯 (PVC) 塑膠，透過這些標準樣品的分析，建立了沉積物中 PE 與 PVC 塑膠濃度與其特徵光譜變化之間的經驗公式，推估明德水庫、曾文水庫及臺灣西南海域沉積物中所含的 PE 與 PVC 濃度，進一步探討水庫及海洋表層沉積物中塑膠微粒污染的差異。本研究發現明德水庫沉積物中的塑膠污染含量高於曾文水庫，推測可能與人為活動有關；而西南海域沉積物中的塑膠污染濃度則低於水庫沉積物，並發現從陸地到海洋間沉積物塑膠污染濃度呈現降低趨勢。本研究利用非破壞性反射光譜技術定量沉積物中的 PE 和 PVC，有助於更快速的評估地球系統中塑膠污染物的來源與污染物的分布情況，以及提供人類世於地質年代劃分的參考依據。

應用反射光譜法量化臺灣古亭坑層地球化學指標

劉軒誠^{1#}、潘惠娟^{1,2}、陳明德^{1,2}、俞舜文³、許峻嘉³、徐郁雯³¹ 國立臺灣海洋大學地球科學研究所² 國立臺灣海洋大學海洋工程科技中心³ 台灣中油股份有限公司探採研究所

#sentra12345@gmail.com

摘要

臺灣西南部上新-更新世的古亭坑層為臺灣產石油氣的生油岩之一，透過系統性分析古亭坑層有機地球化學特性(如：總有機碳、碳酸鈣、黏土礦物組成)，瞭解該區域過去沉積物供應來源的時間序列變化與古環境演化史，將有助於評估臺灣西南部生油岩形成的位置。如以實測分析法大量沉積物之碳酸鈣與有機碳含量，樣本須經冷凍乾燥、研磨均質，再經漫長的燻酸過程去除樣本之無機碳，方能以碳分析儀測量，如此將耗費大量時間和人力。研究顯示可見光-近紅外光光譜可以估算岩心沉積物中的有機碳及碳酸鈣含量，非常適用分析大量的岩心或岩層樣本。本研究將嘗試以非破壞性且可連續測定的反射光譜分析技術測量古亭坑層沉積物樣品之反射光譜，進行光譜一階導數運算與主成分分析等統計處理，並將提取的光譜特徵與總有機碳和碳酸鈣實測值進行迴歸分析建立經驗公式，此外，將提取的光譜成分荷重(Component Loading)與光譜資料庫比對解析沉積物礦物組成，再將光譜成分得分(Component Score)與 XRD 實測黏土礦物含量相比，評估以沉積物光譜分析技術估算之黏土礦物含量之準確性，並探討古亭坑層沉積物的來源與組成的變化。期望建立一非破壞性且可連續測定的光譜分析技術，快速地測量古亭坑層樣本所含的總有機碳、碳酸鈣與黏土礦物等指標，並分析相關地球化學指標隨著深度之變化趨勢，提供瞭解石油資源的分布和開發的資訊以提高石油探採的效率。

關鍵字: 反射光譜、古亭坑層、有機碳、碳酸鈣、黏土礦物

A geometrical approach using Markov-Chain Monte-Carlo estimates the end-members of the mixing model

Cheng-Chien Peng, Ban-Yuan Kuo, and Kuo-Fang Huang

Institute of Earth Sciences, Academia Sinica, Taiwan

The model of mixing dissolved load from input sources is described by a set of mass balance equations. To quantify the contribution of different sources, the mixing model can be solved by iteration of adjustment of the mixing proportions and end-member compositions. Here we present a geometrical approach to solving the end-members directly that we use Markov-Chain Monte-Carlo minimizing the closed area/volume of the end-members in the mixing diagrams subjected to the priors. End-members are estimated by the posteriors from different end-element pairs. This approach is efficient and could avoid the cumbersome adjustment of model parameters, but highly depends on the data distribution in the mixing diagram.

Key words: mixing model, Markov-Chain Monte-Carlo

強震引發地下水位之時序變化與空間分布

Temporal Variation and Spatial Distribution of Groundwater Level Changes Induced by Large Earthquakes

劉慶怡¹、賈儀平²、莊伯禹¹、李在平³、邱永嘉⁴

(1) 財團法人中興工程顧問社 GERC, Sinotech Engineering Consultant, Inc.

(2) 國立臺灣大學地質科學系暨研究所 Department of Geosciences, NTU

(3) 台灣電力股份有限公司 Taipower

(4) 國立臺灣海洋大學地球科學研究所 Institute of Earth Sciences, NTOU

地震期間由靜態應變導致的持續式地下水位變化，可被視為地殼變形的一個指標。本研究使用台灣地區之地下水位資料，分析區域地震與遠距離地震期間引起之變化，分別就時序變化與空間分布進行探討。時序變化顯示，地震期間的這些變化通常突然地發生，然後在地震後緩慢的恢復。高頻紀錄指出，井中水位的同震變化與含水層中的同震變化存在時間差。震後觀察到的異常地下水位變化，可能是由跨地層水流、裂隙或應變解除而引起。雖然持續式變化通常由區域地震引發，但亦可能由同一構造板塊上的遠距離強震所引發。空間分布上，透過分析複井觀測站不同深度觀測井所紀錄的同震變化量與方向，顯示了地下地殼變形之複雜性的額外資訊。1999年M7.6地震時，破裂斷層附近的變化為同震下降，指示鄰近此逆斷層的地殼為伸張環境。然而，在臺灣島地震期間，大多數地區為同震上升，顯示板塊聚合引起的地殼壓縮佔主導作用。

關鍵字：同震、地下水、地震、變形、持續式變化、震後、高頻監測

Keywords: coseismic; groundwater; earthquake; deformation; sustained changes; post-seismic; high-frequency monitoring

龍潭區域地下礫石層建模與地下水流比對分析

陳亮谷¹、曾漢湘¹

(1)行政院原子能委員會核能研究所

摘 要

龍潭地區位處桃園台地，主要岩層可分為表層的階地礫石層，包括晚更新世紅土礫石層與全新世的河階礫石，以及第二層的更新世楊梅層砂岩層。本研究由龍潭台地區域內的36口鑽井，進行岩心紀錄、礫石粒徑紀錄、地下水流速與流向量測等資訊彙整，並藉由SKUA-GOCAD三維地質建模軟體，建立地下三維地質模型。利用地下岩層模型與礫石粒徑分布資訊，試圖重建古河道形貌，並與現今地下水流進行比對，分析其中之關聯性，以及該區水文地質之特性。

關鍵字：桃園台地、三維地質建模、古河道、地下水流

臺灣山區水文地質調查之研究

梁嘉宏、林燕初、陸挽中、張閔翔、郭若琳、賴慈華、邵屏華、黃智昭、王詠絢
經濟部中央地質調查所

摘要

臺灣山區屬地下水資源的重要補注來源區域，在政府提倡多水源多系統聯合經營區域性水資源策略下，山區地下水資源不失為一重要之水資源調配來源。由於評估山區地下水蘊含量所需之水文地質基本調查資料相當匱乏，本所規劃於2010年至2021年將全臺北、中、南段山區進行3期共12年之廣域調查研究，調查尺度涵蓋點、線與面，包括水文地質鑽探、孔內水文地質調查、地下水觀測站井設置、地球物理探測、地球化學分析及山區地下水補注潛能與開發潛能評估等工作。藉由多樣化且不同尺度之調查分析成果，可具體評估地下水水資源開發潛能，並提高整體水資源管理及永續經營之效能。

本所已完成臺灣山區地下岩層水文地質特性分析、地下水觀測井網建置、地球物理探測分析、地表及地下水體之地球化學分析、研究區域水文地質圖幅繪編等具體成果。經由臺灣山區地下水資源調查成果，可瞭解山區地下水是整體平原區重要的補注來源。整體而言 欲掌握山區之岩層地下水資源，仍須深入進行詳細之開發區段實務研究。

關鍵詞：水文地質調查、山區地下水資源、地下岩層水力特性

結合地下水力與熱傳模式與地電阻監測應用觀察降雨 對於近地表土壤之入滲作用 以台中霧峰農田場址為 例

陳均¹、陳建志¹、李明旭²

(1)國立中央大學地球物理研究所、(2)國立中央大學水文及海洋研究所

摘 要

地下水文物理性質資訊有限，無法清楚得知各個空間點的資訊，例如常見的水文資料的取樣往往是透過單點方式採集，在空間尺度上的分布是非常的稀疏的，因此意味著我們能取得到的土壤水文特性是非常局部的，要如何將局部的土壤水文參數推廣至整體地下空間將是非常重要的課題，唯有利用數值水文模式，得以將點狀觀測資料拓展為地下全域空間的資訊，以進一步了解地下各種水文物理機制。雖然傳統單點的土壤水文資料測量是個有效的方法，但是前提必須要於空間中提供足夠位置的量測點，這麼一來往往會導致投入大量的金錢與人力，對於經濟層面的效益是很大的挑戰，因此非侵入性的地球物理方法有著高經濟效益且快速的優點，加上近年來監測地電阻影像法的進步，提供小尺度(數公尺)、高空間解析度的地下物理性質監測數據，對於地下水文物理參數量化有非常重要的幫助，得以俾補傳統單點土壤水文測量的空間解析上的不足，本研究使用耦合水力與熱傳模式，建立地下土壤隨降雨入滲之行為，配合地球物理地電阻法的監測，觀察其地表至地下土壤之降雨入滲作用。

濁水溪沖積扇南扇地表補注潛勢評估與地下地質架構分析

林燕初、賴慈華、邵屏華、張良正、陳祐誠

為推動地下水保育與地層下陷防治，確保我國地下水資源永續利用，經濟部爰研提「地下水保育管理暨地層下陷防治第3期計畫」，規劃持續推動地下水補注等策略，以減緩地層下陷、精進地下水合理利用。其中經濟部中央地質調查所參與水文地質補充調查，規劃於濁水溪沖積扇與屏東平原評估地下水人工補注之高潛勢區位。

本計畫以濁水溪沖積扇南扇為調查區域，進行地下水天然補注區分級檢討及人工補注區位評估。天然補注區分級檢討部分，首先運用暫態電磁法(TEM)、地電阻(ERI)及大地電磁(AMT)方法，調查評估淺層水文地質結構，配合區域電阻率井測、電磁與地電阻等資料，進行空間資料同化與整合，建立三維地電阻模型。再透過貝氏最大熵法整合岩芯資料、三維地電阻模型、岩性機率場等資訊，推估三維水文地質架構，推算出地表30公尺內低透水層累積厚度之空間分布，將厚度分級作為天然補注區分級依據，而人工補注區評估則以低透水層較薄之級別為基礎，搭配台糖土地、公有土地等資訊，分別於扇頂及扇央區域提出11處及8處人工補注潛勢區位建議。

為評估人工補注區位效益，本計畫利用MODFLOW地下水數值模式進行模擬，參採計畫相關分析成果進行模式建置，如三維水文地質岩性架構分析出的模式分層架構；水力參數資料融合技術推估之水文地質分層參數；及調查推估之入滲量則作為模式邊界給定等。最後利用率定完成地下水數值模式，針對其中16處區位進行補注效益評估，情境假設分別於各區位建置人工湖且於5至9月進行蓄水補注，而模擬結果顯示，若以涵養地下水資源為目標，優先建議區位於扇頂為5處、扇央為3處；若以減緩地層下陷為目的，優先建議區位於扇央為2處。

關鍵詞：天然補注、人工補注、水文地質架構

Keyword : Recharge, Artificial Recharge, Hydrogeological Structure

地電阻技術應用於高雄地區地下水資源調查

韓為中¹、鍾陳東¹、沈顯全¹

(1) 台灣中油公司探採研究所

摘要

近年來台灣受極端氣候影響造成降雨不均，各地時有水資源供應問題發生，當水庫及河川等地面水蓄水量不足時，地下水具有水量穩定之優勢，可做為緊急備援水源使用。然而，目前國內對於深部水文地質資料相當缺乏，亟需取得深度大於200公尺的地質地物資料，以提供更全面的地下水資源開發規劃與永續利用參考依據。本研究於高雄地區採集並分析垂直地電阻資料與地電阻影像剖面資料，並參考本區既有之地質地物資料，建立水文地質剖面，並評估地下深度約400公尺內之水文地質特性。分析成果顯示旗山斷層上盤存在粗顆粒砂、礫岩層；旗山斷層下盤則富含泥質沉積物，淺部雖亦存在局部砂質或石灰岩質含水層，但其厚度較薄且孔隙度較上盤之砂、礫岩差，整體而言地下水資源潛能不如旗山斷層上盤區域。本研究成果提供了高雄地區水文地質特性，可作為未來地下水資源開發規劃與永續利用之初步參考。

結合水力剖面掃描評估沿海含水層地下水時空動態特徵

陳宜璟^{1*}、倪春發²、張侑瑛³、林淇平⁴、許家毓¹、王新博¹、許安誼¹、

(1)國立中央大學應用地質研究所碩士生(通訊作者信箱:

oscarchen31@gmail.com)

(2)國立中央大學應用地質研究所教授

(3)國立中央大學應用地質研究所博士候選人

(4)國立中央大學環境研究中心助理研究員

摘要

為解決近年來台灣水資源之枯旱現象，地下水成為抗旱之關鍵水資源。而如何描繪與評估地下水流場為水資源開發領域之重要關鍵議題之一。本研究將結合各類水文地質試驗、正反推估數值模式等方法推估水文地質參數空間分布與建構地下水流場時空動態特徵。本研究以國立中央大學TaiCOAST臨海工作站地下水觀測井場作為主要研究場域，共包含11口觀測井，進行水力剖面掃描相關試驗，包含單井、複井、分層抽水及觀測、微水試驗。同時參考現地岩心材料分佈配合VSAFT2反推估水平向水力傳導係數之二維空間分布。本研究將使用數值模式融合水力試驗獲得之含水層特徵參數空間分布，並對各試驗之空間代表性及其反推估結果，進行參數空間分布不確定性分析，以最佳結果建立地下水動態流場數值模擬，並與沿海潮汐水位變化作為時序水位變化觀測資料驗證。此模式將用於研析本場址地下水與海水交互作用之反應特性，同時探討不同試驗尺度代表性，對於水力剖面掃描反演算結果不確定性，以評估水力試驗尺度效應之影響。

現地岩心取樣結果顯示，可發現在特定深度（地下18.5公尺處），有明顯的上下材料分層；結合抽水結果，分層複井抽水試驗在特定深度，有發現明顯不同的洩降趨勢；而複井分層抽水結果可以反推出T值之趨勢，同時本研究場址主要材料為

細沙夾泥，各式水力試驗推得之K值大致符合合理的K值範圍內。研究結果顯示在井數量許可下，結合分層抽水試驗之結果並搭配水力傳導係數反推估，能大致描繪含水層異質性的分布狀況；本場址水平向材料分佈尚屬均質，因此分層水力試驗大致可以準確的判定水平向水力傳導係數。本研究亦結合數值模式，對於整體水流場和溫度場之結過進行驗證，因此推測反演算數值模式在現地場址異質性條件下之反推結果屬於合理範圍。

關鍵字：反演算、含水層參數、水力剖面掃描、地下水流場。

濁水溪沖積扇南段地下水補注區之水文地質補充調查成果 Preliminary study on the hydrogeological investigation in the groundwater recharge area of e southern Zhuoshuixi alluvial fan

林榮潤¹、陳耐錦¹、柯建仲¹、梁嘉宏²、賴慈華²、邵屏華²

J.J. Lin¹, N.C. Chen¹, C.C. Ke¹, J.H. Liang², T.H. Lai², P.H. Shaw²

1. 財團法人中興工程顧問社 Sinotech Engineering Consultants, Inc.

2. 經濟部中央地質調查所 Central Geological Survey, MOEA

濁水溪沖積扇歷年已有諸多產官學研單位投入調查及研究，其中經濟部中央地質調查所於84年完成「台灣區地下水觀測網第一期計畫」、88年出版「濁水溪沖積扇水文地質調查研究總報告」，以及103年提出「地下水補注地質敏感區劃定計畫書」，以落實水文地質架構建置與補注區劃設等工作。後續110年起滾動式配合經濟部水利署「地下水保育管理暨地陷防治第3期計畫」，規劃水文地質鑽探及孔內水文地質補充調查，俾利評估地表補注潛勢等成果。

本研究於110至111年於濁水溪沖積扇南段區域完成21孔水文地質鑽探，總進尺為1,710公尺，鑽孔深度分布範圍為60至230公尺，其中4孔分布於斗六丘陵，17孔位於扇頂及扇央區，且各孔亦完成孔內地球物理井測及水化學井測。透過新增鑽孔及既有鑽井之綜合分析成果研判，繪製東西向及南北向的水文地質剖面圖，釐清該區域的阻水層T1與含水層F1之分布，有助於提供補注邊界修正之依據及瞭解麓山帶與平原區交界之情形。此外，地下水補注地質敏感區邊界之修正方案中，根據石榴與東和站之東西向及南北各兩條剖面中，瞭解阻水層T1的尖滅位置，故邊界可由長安修正至石榴北側至斗六丘陵，而石榴至古坑的地下水補注區可建議刪除，其古坑至溫厝表層的良好含水層，應屬於北港溪流域的地下水補注源頭與系統。

關鍵字：濁水溪沖積扇、地下水補注、水文地質

Keywords: Zhuoshuixi alluvial fan, groundwater recharge, hydrogeology

結合 GEMPY 開源模式 建構沿海地區水文地質三維概念模型

王新博¹、倪春發¹、張侑瑛¹、林淇平²、陳宜璟¹、許家毓¹、許安誼¹

(1)國立中央大學應用地質研究所、(2)國立中央大學環境研究中心

摘要

在沿海地區，地下水資源自然會遇到與海水共存的問題，一旦海水過度入侵，會導致土壤鹽化、地表植被或耕作毀損等問題產生，因此需要透過觀測資料與數值模型了解海淡水的交界分布範圍，以及其受潮汐影響所造成的變化。水文地質數值模式模擬工作首重地質概念模型之建立，建構符合現地條件之地質模型可有效降低推估結果之不確定性，並提升水資源計算與評估之精準度。本研究以國立中央大學 TaiCOAST 臨海工作站為目標，進行水文地質調查工作，包括岩心鑽探與地質材料判識、地下水文觀測、水文地質特徵參數等，以 GemPy 開源地質建模套件建置三維地質概念模型，結合 FloPy 進行沿海地區流場模擬。本研究將場址內岩心分成兩部分，一部分用於建立地質模型，另一部份用於比對結果；流場模型則使用兩至三個月平均地下水頭做為建模依據，並透過海淡水的水頭變化進行模式驗證，最後藉由觀察流場模型探討潮汐變化對於沿海地區的影響。GemPy 是個基於隱式插值方法的開源地質建模套件，可使用岩心所得之資料，透過插值方法建立該地區的地層分布。本研究能夠更有效率的藉由開源軟體建立三維水文地質模型，並串連 python 語言之水流數值模式套件進行地下水流場分析，目前已使用場址內兩口岩心資料，藉由 GemPy 進行插植計算完成場址內三維地質模型，以及利用地質模型所得之材料分布推估水利傳導係數導入 Flopy 程式內建立流場模擬。未來期望透過大量岩心資料降低地質模型不確定性，提升地下水流場推估之準確性，研究結果也能提供水文地質建模可行方案的參考依據。

關鍵詞：水文地質建模、海淡水交界面、數值模擬分析、流場模擬。

利用熱示蹤劑試驗結合熱水耦合數值模式解析沿海含水層地下水流場與特性評估

許家毓¹、倪春發¹、張侑瑛¹、林淇平²、陳宜璟¹、王新博¹、許安誼¹

(1) 國立中央大學應用地質研究所、(2) 國立中央大學環境研究中心

摘要

人類社會對於水資源的需求量持續增加，全球用水量增加的主要因城市擴張、農業活動增長、人口快速增長、經濟發展和生活水平提高，而地下水資源作為傳統水資源的替代來源，近年來更將沿海地下含水層補注至海洋之地下水視為潛在水資源來源，透過操作抽取與補注地下水作為替代水資源。本研究以中央大學TaiCOAST臨海工作站作為試驗區域，水文地質參數取得方法分為室內試驗與現地試驗，藉由室內試驗獲得水力傳導係數，進行材料熱傳導試驗，測量飽和狀態下土壤材料熱傳導係數與熱脈衝係數等參數，以此結果輔助辨識地質材料，將其放入FEFLOW數值模式，設定流場基本參數，以現地試驗量化含水層之地下水通量，推估可利用淡水資源總量。利用熱示蹤劑加熱試驗，針對井內垂直溫度分布進行高解析連續量測，利用地下水溫度變化、熱傳導係數與體積熱容量等參數，推估地下水通量並與現地鑽探岩心進行比對，評估地質分層及透水特徵區域。數值模式採用FEFLOW建立模型，以現地觀測水位、溫度、水文地質參數、熱傳導係數以及潮汐週期等邊界條件，建立之地下水流場分布概念模式。經加熱試驗之井內垂直溫度變化結果顯示，井深約20-25M區段透水性較差，加熱時溫度上升相對顯著，而井深約40M處相較之下無顯著溫度上升，推估該處透水性較佳，並對應其岩心材料驗證結果，然而利用數值模式估算地下水通量並驗證與現地試驗相似，且大致符合材質透水性良好區段，可進一步探討沿海含水層海淡水交互作用與地下水抽取量之關係，提出適用於本區域地下水資源管理之參考根據，以實現永續發展管理之目的。

徑向發散流場移流-延散方程之全解析解

陳緯愷¹、陳瑞昇²

(1)中央大學應用地質研究所 指導教授:陳瑞昇教授

摘 要

徑向流場中溶質傳輸的解析解在抽注/發散/收斂流示踪試驗中的傳輸研究、通過抽水修復含水層以及含水層儲存回抽中具有多種實際應用。然而，徑向移流-延散傳輸的解析解已被證明難以開發。過去研究提出的大多數徑向移流-延散傳輸的解通常為半解析解，最終濃度值是借助數值Laplace逆轉換獲得。本研究採用了較新穎的方式來求解徑向發散流場移流-延散傳輸問題。首先執行關於時間變數的Laplace轉換和關於空間變數的廣義積分轉換技術，以將暫態控制偏微分方程轉換為代數方程。隨後，使用簡單的代數操作來求解代數方程，從而在轉換域中容易地求得解。通過Laplace逆轉換和相應的廣義積分逆轉換連續應用，最終求得原始域中的解。使用發散流示踪劑試驗證明了所提出的方法的穩定性，該方法用於推導徑向發散流場移流-延散傳輸問題的全解析解。將本研究的解析解模式計算結果與Laplace轉換有限差分法（LTFD）進行比較，以驗證解的正確性。通過LTFD驗證了所開發的解析解，結果表明，本研究的全解析解與LTFD非常吻合。

考慮膠體加速放射性核種衰變鏈多成員核種遷移的數值模式發展

黃昶輔¹、陳瑞昇¹

(1)國立中央大學應用地質研究所

摘要

相較於其他能源，核能提供了乾淨能源，但也必須承擔核電廠運轉過程所產生的高階廢棄物的處置問題。高階廢棄物深層地質處置為台灣未來須面對的嚴肅課題。然而，在興建高階廢棄物處置設施過程中可能會造成地底下的介質出現裂隙。這些裂隙會是放射性核種透過地下水外釋到生物圈主要的通道。在裂隙中地下水常存在膠體，放射性核種可進一步吸附於可移動的膠體而加速其傳輸。因此了解膠體對放射性核種在裂隙-母岩系統的遷移行為對於高階廢棄物場址各階段的安全評估都相當重要。本研究發展出一個數值模式來模擬膠體與放射性核種衰變鏈的多成員核種在裂隙-母岩系統中的傳輸。本模式採用的是使用有限差分法獲得的數值解，並撰寫成FORTRAN程式執行數值模式的計算。最後，將會透過模式的參數進行敏感性分析來了解重要的參數影響。該模型考慮了膠體濃度的時間與空間變化，將可增加高階廢棄物深層地質處置場安全評估的信賴度。

- (1) 國立中央大學/陳瑞昇
- (2) 碩士生/二年級
- (3) afu880528@gmail.com

濁水溪沖積扇垂直井溫模擬與補注潛勢

The numerical simulation of vertical groundwater temperature in the Choshui fan, central Taiwan

陳文福*1、林燕初 2、賴慈華 2、邵屏華 2、黃智昭 2

1 嘉南藥理大學環境工程與科學系

2 經濟部中央地質調查所

本研究使用觀測水位與垂直井溫來模擬地下水流場，評估的地區為濁水溪扇頂至扇央區烏塗至港後等 20 口觀測井。研究方法為先分析觀測的水位，計算水平的流向及流速，以及垂直方向的流向；另外量測垂直井溫，利用熱傳播的二維公式，以數值模擬可能的水平及垂流向及流速。

垂直井溫模擬結果顯示：扇央區的阻水層垂流向流速大致與水位觀測一致，流速大約界於 10^{-7} 至 10^{-9} m/s，低於 10^{-9} m/s 表示對流效應已低於傳導效應。綜和 2021-2022 兩年調查結果，濁水溪沖積扇扇頂至善央的補注潛勢可分成三區：(A)扇頂補注區，地下水有往下的分量，大約為烏塗至六合一帶；(B)扇頂至扇央轉變帶，第一阻水層有往上流的分量，大約從六合至虎溪；(C)扇央，淺層流場往下，約從虎尾至元長。

關鍵詞：地下水補注、垂直井溫、地下水流場

Keyword: groundwater recharge, temperature depth profile, groundwater flow field

雲彰地區高維度水力-力學耦合數值模式之建置與率定

張瑀宸¹、邱永嘉²、顧承宇³、倪春發⁴

- (1) 國立臺灣海洋大學地球科學研究所研究助理
- (2) 國立臺灣海洋大學地球科學研究所教授
- (3) 國立臺灣海洋大學河海工程學系特聘教授
- (4) 國立中央大學應用地質研究所教授

摘要

地下水文平衡與土壤力學特性應用於歷年地層下陷防治計畫，用以評估及研究地層下陷，對其進行數值模擬與參數率定，分析預估未來可能之下陷情形。然過往地層下陷防治管理中缺乏耦合水力學及土壤力學的分析評估，因此將兩種特性納入考量建立水力-力學耦合地層下陷數值模式將可有效的解析區域地層下陷量與土壤壓縮行為。傳統的數值模式率定基礎為逆推理論 (inverse theory)，透過現地量測資料 (地下水水位及地層沉陷量) 驗證耦合數值模式分析結果之正確性。然而為真實呈現現地水文地質概況，模式將趨於複雜化，導致大量的水文地質與土壤力學參數需要進行率定，形成高維度參數 (highly parameterization) 數值模式，使其結果缺乏唯一解 (non-uniqueness) 且不穩定，致使參數率定上的困難度增加。本研究結合全域參數敏感度分析 (global sensitivity analysis) 與截斷奇異值分解理論 (truncated singular value decomposition, TSVD) 之優點，建立新是參數推估理論，嘗試解析參數耦合模式率定結果的不穩定性以及反演問題 (inverse problem) 的不適當性 (ill-posed)。本研究針對彰化及雲林地層下陷嚴重區域，研析土力參數特性對於差異沉陷之影響。於兩區域內進行數值模式的網格加密，配合土壤重新分層之結果，建立高維度參數的水力-力學耦合數值模式，並使用新式參數推估理論，驗證測試此高維度參數率定技術之適用性。研究結果顯示，新式參數推估理論可有效解析高維度參數數值模式率定之問題，未來可應用於地層下陷之水力-力學耦合數值模式，提供予地層下陷防治相關部門做為評估及預警的參考資訊。

關鍵詞：地層下陷、水力-力學耦合數值模式、高維度參數率定、TSVD理論、全域敏感度分析、彰雲地區

台灣含水層儲蓄回抽場址優選

李柏峯¹、陳瑞昇²、梁菁萍³

(1)中央大學應用地質研究所 指導教授:陳瑞昇、梁菁萍教授

摘要

台灣由於長年缺乏妥善規劃及經營地下水資源，過度使用地下水引發地層下陷等許多環境問題。含水層儲蓄回抽（ASR）是將多餘的地表水注入到地下含水層中，於需要時回抽使用的技術，含水層儲存回抽是針對地下水短缺的解決方案，台灣正在以驚人的速度消耗含水層的地下水，但在台灣等潮濕區域尚未開發。在低海拔環境中地表蓄水不可行，因此含水層儲存回抽可以提供一種替代方法來減輕地下水壓力並防止地層下陷和鹽水入侵本研究的目的是為應用人工神經網路的方法評估含水層儲存回抽在台灣的可性。該研究基於地下水水質以及流通係數做為人工神經網路的輸入參數，並使用交叉驗證。人工神經網路的結果顯示在 2 層隱藏層 且每層神經元個數為 4 個的模式下有最好的預測效果。該分析確定了台灣的西南部地區正承受著巨大地下水供給的壓力。除了地下水水質和流通係數的參數外，地表水的質量和土地利用方面也是需要考慮的因素。

臺南台地區域垂直運動之時空變化

黃貴晟¹、景國恩¹、魯曜銓¹、張午龍²、陳建良³

1. 國立成功大學測量及空間資訊學系

2. 國立中央大學地球科學學系

3. 經濟部中央地質調查所

摘要

根據震測剖面得知，臺灣西南部之泥貫入體大致沿著已知的背斜構造分布，且與外海之泥貫入體相連。然而，現今西南部之地殼變形是否有受到泥貫入體的活動所影響仍存在爭議。為了釐清泥貫入體現今可能的活動型態，本研究利用橫跨臺南台地之大地測量資料，探討臺南台地地區垂直變形的時空變化，並嘗試解析受到泥貫入體影響的區域。本研究首先解算中央地質調查所安平至龍崎精密水準測線之原始資料。由於精密水準的參考點是選自測線上的任一點位，使得水準資料的速度場參考框架與 GNSS 連續站的不同，而無法進一步比較速度場的差異。為了使精密水準與 GNSS 連續站的垂直速度場有一致的參考點，本研究選取水準路線中，鄰近 GNSS 連續站或與其共點之水準點位作為約制點，假設該點與 GNSS 連續站有相同的垂直速度，並進行水準速度場的修正，如此水準的垂直速度場參考點也是澎湖 S01R 白沙站。在水準約制點的選取中，本研究選取資料品質穩定、觀測時間跨度大且與各水準點距離最接近的 GNSS 連續站作為約制條件。分析結果顯示，GNSS 連續站資料之高程坐標精度較差，約 10 mm，但資料時間解析力佳；反之精密水準測量資料之高程坐標精度約為 4 mm，但是時間解析力不佳，大致上為每年一次測量。透過比對約制點以外的 GNSS 與精密水準時間序列，顯示水準速度場的修正是可靠的。此水準測線多呈現抬升型態，在跨越後甲里斷層及背斜軸附近皆有較大抬升量，近 20 年累積了將近 100-150 mm 的抬升量，並大致以背斜軸為中心，數值向背斜兩側逐漸下降至 50-70 mm。本水準測線記錄 2010 年甲仙地震與 2016 年美濃地震之垂直同震位移場，甲仙地震與美濃地震在龍船斷層附近有產生同震抬升的型態。由西向東跨過後甲里斷層至龍船斷層有較大同震位移量，其值分別是 7-55 mm 以及 10-160 mm 之間，除此之外，同時可能紀錄了泥貫入體作用之影響。

關鍵詞：精密水準測量、GNSS 連續站、泥貫入體、臺南台地

以TERIA地震衝擊資訊平台模擬九芎坑斷層帶周遭都會區震災 情境分析

A disaster earthquake simulation for the urban area around the Chiuchiunkeng Fault zone with the TERIA platform

劉展瑄(Chan-Hsuan Liu)¹、溫士忠(Strong Wen)¹、鄭凱謙(Kai-Chien
Cheng)¹

(1) 國立中正大學地球與環境科學系

摘要

臺灣位於板塊交界處，地震頻繁，許多災害性地震的傷亡都跟建物倒塌有關。根據臺灣地震模型(Taiwan Earthquake Model, TEM)指出，臺灣西南部未來50年內地震潛勢高，其中九芎坑斷層的未來50年發震機率高達16%，規模可能達到7，若發生地震，其可能所造成的災害不容忽視。

本研究使用有限差分錯位法(Staggered-Grid Finite Differences)，藉著引入斷層的走向(strike)、傾角(dip)、滑移角(rake)，考慮地震矩(seismic moment, M_0)和地下速度構造模型等資訊，於九芎坑斷層帶建立虛擬震源，並得到其地震動參數分布(PGA, PGV, PGD)。之後使用臺灣國家災害防救科技中心的「地震衝擊資訊平台(Taiwan Earthquake impact Research and Information Application platform, TERIA)」，進行地震災害於各種面向的衝擊評估資訊。最後針對九芎坑斷層帶周遭的都會區域，與TERIA平台的其他社經資料庫進行情境分析，比較其情境模擬結果差距，對於高地震風險區域進行有效評估，以供政府單位參考應變。

Calibrating the Relationship between Strain and Particle Velocity using Distributed Acoustic Sensing and Borehole Seismometers in the MiDAS Project

Wen-Hao, Wu¹、Kuo-Fong, Ma²

(1)Department of Geosciences, National Taiwan University、(2) Institute of Earth Sciences, Academia Sinica

Abstract

Distributed acoustic sensing (DAS) is a technology that can repurpose an optical fiber as a dense array of strain sensors. To know the dynamic strain that is affecting the fiber, the interrogator repeatedly pings laser pulses into it, then measures the backscattered light. DAS measures the strain which is different from the particle velocity measured by seismometers. The MiDAS project placed downhole optical fiber together with borehole seismometers in Milun Hualien, which provides us a great opportunity to calibrate the relationship between strain and particle velocity, which is theoretically correlated. We use the records of the earthquake sequence of the Chihshang earthquake of September 18th 2022. The similar mechanism in this earthquake sequence would allow us a better correlation in strain and velocity fields without significant source, and path effect. The earthquake sequence targeting the magnitude scale of M4-M7 might also provide us a better scaling relationship through various magnitudes. The condition needs to be taken care of in this is that the downhole optical fiber is only in vertical component, while maximum strain is often observed in the horizontal component. For the similar focal mechanisms of the earthquake sequence, we intend to also examine the scaling relationship of vertical component of strain to velocity, then its possible correlation to the horizontal component by the vertical to horizontal ratio in velocity. This will be the first co-site derived scaling relationship of strain to velocity through various magnitudes.

花蓮地區米崙斷層之應力探討

黃鈺祐¹、吳泓昱¹、李奕亨²、馬國鳳³

(1)國立成功大學資源工程學系、(2)財團法人工業技術研究院、(3)中央研究院地球科學研究所

摘要

台灣花東縱谷地區位於歐亞板塊與菲律賓海板塊之碰撞帶，因此造成花東縱谷地區地震活動頻繁，米崙斷層為花東縱谷地區於花蓮往外海延伸之斷層帶，根據前人研究，該區域內發生兩起芮氏規模6以上之地震，分別為1951年10月22日M_L 7.3的縱谷地震及2018年2月6日M_W 6.4的花蓮地震。推測該斷層帶之地震週期約為60~90年，以瑞穗斷層為例，經濟部中央地質調查所調查其活動再現週期為190±20年，可以發現米崙斷層相對於台灣其他斷層活動週期較為迅速。因其於百年內發生諸多地震，造成米崙斷層走向滑移之地表破裂快速變形之現象造成花蓮地區諸多房屋倒塌及人員傷亡。

本研究為了解米崙斷層及其周圍地質力學之行為模式，透過米崙斷層鑽井計畫(MIDAS)於花蓮四八高地鑽掘兩口分別為700公尺及500公尺的科學鑽井，並施測地球物理井下測量取得自然電位井測、自然伽瑪井測、電阻井測、井偏井測、聲波井測、聲波造影井測。藉由井測資料去判別該地方之地層岩性，應力大小及方向。並透過地質資料建模分析繪圖管理軟體(RockWorks)，建立米崙斷層相關之三維地質動力學模型以了解該區域之應力狀況。其能藉由此模型確認米崙斷層之相關斷層參數。

荖濃河流域之山區至平原地區之地下水補注特性分析與推估

張瑀宸¹、邱永嘉²、盧廷維³、呂安³

- (1) 國立臺灣海洋大學地球科學研究所研究助理
- (2) 國立臺灣海洋大學地球科學研究所教授
- (3) 國立臺灣海洋大學地球科學研究所研究生

摘要

在氣候變遷的衝擊之下，降雨時空分布不均的南台灣自2019年起每年11月至隔年3月每月累積降雨量均低於1,000mm，嚴重不足以供應該流域的用水資源。為減緩各區域缺水現象，相關政府單位執行節流政策並向高山地區尋找可引用之水源，亦須確保平原區地下水蘊藏量，因此了解山區水體如何流動及補注至平原區將成為現代重要課題。前人研析山區水流路徑，將水體透過山前地表水流至平原區的過程稱為山前補注（mountain front recharge, MFR），而水體入滲至山體岩層並隨著地下水流入平原區的過程稱為山體補注（mountain block recharge, MBR）。本研究選定高屏溪最大支流之荖濃溪及其流經之山體做為研究目標，於山區及平原交界處左岸設置兩口不同深度之地下水觀測井，配合右岸水利署已裝設之地下水觀測井，透過長期地下水水位、溫度以及導電度觀測資訊，並結合現地熱示蹤劑試驗及水質採樣分析，解析該地區山前及山體補注特性。本研究已完成井下分散式光纖溫度感測器（fiber optic distributed temperature sensor, FO-DTS）量測與河道地電阻探測（electrical resistivity tomography, ERT）。初步結果顯示，荖濃溪右岸與左岸之地下水水位具有顯著的差異，推測可能受到潮州斷層截斷影響，同時造成兩側河道地電阻成像有顯著的不同。左岸鄰近山麓前緣，深、淺地下水井水位及溫度分布特性差異甚大，推測山區至平原區的地下水補注與遷移可能為MFR與MBR的混合模式。未來將進行熱示蹤劑試驗，研析兩口地下水觀測井之水流流向及流速估算，並透過水力傳導係數隨深度之變化以及水質採樣分析解析該地區山前補注及山體補注之水流路徑及蘊含量。

關鍵詞：山前補注、山體補注、地下水蘊含量、荖濃溪

Principles and Application of X-Ray Computed Tomography System: A Glance at Geological Samples

Yen-Hsi Wu¹、Yao-Ming Liu¹、Jun-Ting Lin¹、Yu-Chun Chang¹
Gerald Degenhart²、Ya-Hsuan Liou³、Jyh-Jaan Steven Huang¹

(1) Institute of Oceanography, National Taiwan University、(2) Medical University of Innsbruck、(3) Department of Geosciences, National Taiwan University

X-ray Computed Tomography (CT), a computerized combination of multiple X-ray analyses from different angles to produce tomographic images, has been widely used in modern medicine and diagnosis since the 1970s. As a non-destructive and rapid technique, CT is an ideal tool to characterize the internal 3D structures of objects and has attracted various Earth Science disciplines over the last decade. Besides the visual-based observation, quantitative 3D micro-morphometry information can be extracted and linked to grain/pore size, sedimentary structures, and eventually geochemical/mineralogical composition. Here we would like to introduce the newly established Geotek Rotating X-Ray Computed Tomography System (RXCT) at National Taiwan University. The features of this system are (1) high voxel resolution (30 - 350 μm , depending on the sample size), (2) large sample size with source-detector rotation design (1.5 m in length and 15 cm in diameter), and (3) different scanning modes, including 2D radiograph, pseudo-3D laminography, and 3D CT rotating scan. This poster uses a few geological samples to demonstrate and compare different scanning results to provide a preliminary demonstration. The detailed 3D distribution, including event layers in the sedimentary core, cleavage distribution in the hard rock core, and mineral distributions in rock samples, can be clearly reconstructed to further advance their scientific applications. For now, detailed testing and standard operating procedures are being established with various applications. This is expected to form a new research line to rapidly examine the internal structures without destroying the samples, which may have great potentials in sedimentology, paleontology, mineralogy, petrology, archaeology, and energy-related applications.

Keywords: Non-destructive technique, X-ray computed tomography, 3D reconstruction

屏東沿海地下水鹽化範圍與面積

Groundwater salinization in Pingtung, southern Taiwan

陳文福¹ 邱永嘉²

1 嘉南藥理大學環境工程與科學系

2 國立臺灣海洋大學地球科學研究所

台灣的水資源一年使用量約 209 億噸，其中地下水資源一年約使用 56 億噸，佔總水資源的 27%，其中屏東地區的地下水一年抽用量約 11 億噸，相當於地下水總使用量的 20%。屏東地區於 1995 年開始建立分層觀測井，發現沿海部分地區有地下水鹽化的現象，嚴重影響水資源之利用。本研究使用水利署之分層地下水觀測井，2022 年 9 月量測各井水位及井內導電度，換算成淡水水頭，推測各分層之地下水鹽化範圍與面積，研究區深度至 350m 之水文地質大約分為四層，各層的地下水鹽化範圍與面積如下： F1 海水入侵面積約 117 km²、最深進入內陸約約 9 km；F2 海水入侵面積約 89 km²、最深進入內陸約約 6 km；F3-1 海水入侵面積約 57 km²、最深進入內陸約 9 km；F3-2 海水入侵面積約 124 km²、最深進入內陸約 10 km。如何解決地下水鹽化問題？建議增加上游的地下水水頭，並進行海岸區的人工深井補注。

關鍵詞：地下水鹽化、屏東沿海、淡水水頭

Keyword: groundwater salinization, Pingtung coastal plain, fresh water head

以東源池沉積物研究2000年來古氣候變化

徐瑜婕¹、蔡名憲¹、李冠樺¹、何宜蓁¹、李佩儒¹、汪良奇¹

(1)國立中正大學地球與環境科學系

摘 要

陸地湖沼沉積物可重建古環境，並推論過去氣候變遷。而沉積物中，炭屑可反映過去火災事件頻率與強度，有機物變化可反映沉積環境的改變，因此將兩項指標資料結合，重建可信的古環境變遷資料。本研究目的透過分析屏東東源池沉積物的有機碳濃度、有機碳同位素以及炭屑含量，重建過去臺灣南部之古環境變化，進而推論2000年以來高解析度氣候變遷模式。從該地取得岩心總長約236公分，以2公分深度為間隔，經化學處理、影像分析、儀器分析、程式分析得知每個深度的年代、炭屑含量、有機物組成變化以重建古環境變化。

- (1) 就讀學校 國立中正大學/指導教授 汪良奇教授
- (2) 學位/年級 地球與環境科學系 三年級
- (3) E-mail: jennyhsu922@gmail.com

山崩地質資訊雲端服務平臺建置與服務

徐瑜婕¹、蔡名憲¹、李冠樺¹、何宜蓁¹、李佩儒¹、汪良奇¹

(1)國立中正大學地球與環境科學系

摘要

陸地湖沼沉積物可重建古環境，並推論過去氣候變遷。而沉積物中，炭屑可反映過去火災事件頻率與強度，有機物變化可反映沉積環境的改變，因此將兩項指標資料結合，重建可信的古環境變遷資料。本研究目的透過分析屏東東源池沉積物的有機碳濃度、有機碳同位素以及炭屑含量，重建過去臺灣南部之古環境變化，進而推論2000年以來高解析度氣候變遷模式。從該地取得岩心總長約236公分，以2公分深度為間隔，經化學處理、影像分析、儀器分析、程式分析得知每個深度的年代、炭屑含量、有機物組成變化以重建古環境變化。

- (1) 就讀學校 國立中正大學/指導教授 汪良奇教授
- (2) 學位/年級 地球與環境科學系 三年級
- (3) E-mail: jennyhsu922@gmail.com

Using a seismic array to study sediment redistribution after dam breaching

Tzu-Yao Chang¹、Wei-An Chao^{1,2}、Chi-Yao Hung³

¹Department of Civil Engineering, National Yang Ming Chiao Tung University, Hsinchu 300, Taiwan

²Disaster Prevention and Water Environment Research Center, National Yang-Ming Chiao Tung University, Hsinchu 300, Taiwan

³Department of Soil and Water Conservation, National Chung Hsing University, Taichung 40227, Taiwan

Abstract

In the case of dam breaches in natural rivers, there is a lack of systematic studies understanding how the changes in the river bed elevation. This study aims to understand the characteristics of erosion and deposition along the river channel. This study conducted two experiments: single dam (Experiment I) and single dam with spur dike (Experiment II). Seismic arrays were installed on the downstream left and right banks of the river, with a total of 20 and 12 receivers for Experiments I and II (Figure 1). This study applied the Power Spectral Density (PSD) estimation method to analyze the signal characteristics in both time and frequency. Taking Experiment I as an example, the dam breaching process was divided into two stages: the impoundment stage (t1-t3) and the dam-break stage (t3-t4). Mean PSD time series was computed for the frequency range of 10 to 100 Hz, where PSD values were higher for each station, as shown in Figure 2.

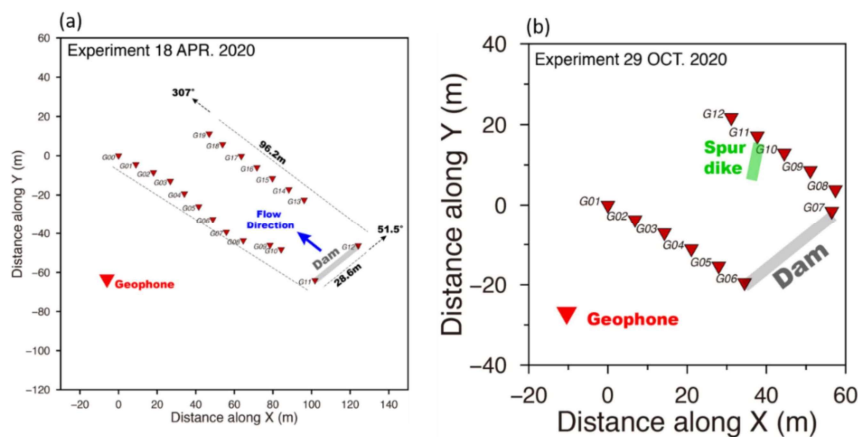


Figure 1. Distribution map of monitoring stations during the dam-break test on (a) single dam, (b) single dam with spur dike.

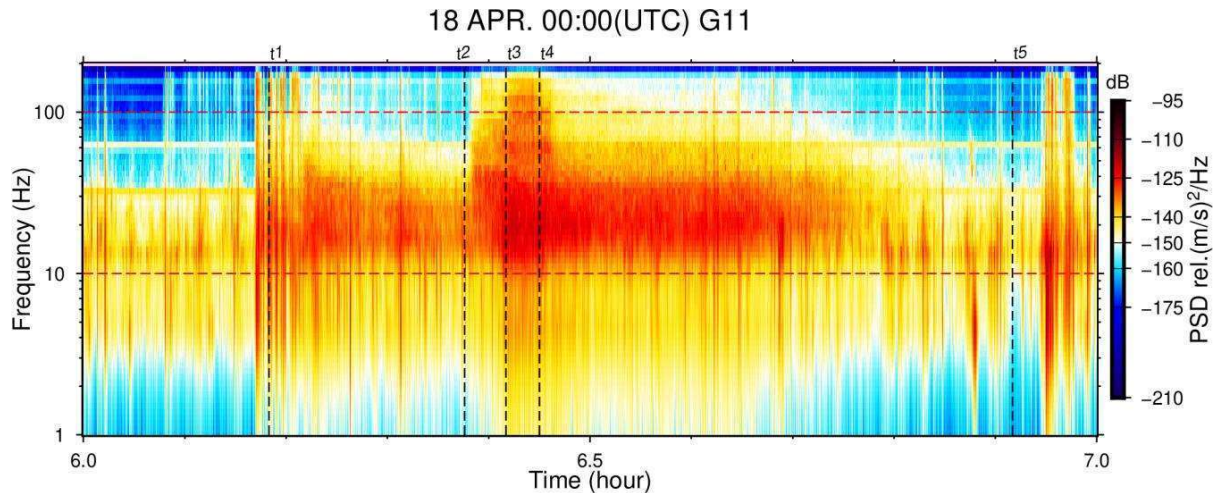


Figure 2. Spectrograms of station beside the dam (Experiment I)

From the time-frequency analysis, it can be observed that both Experiment I and Experiment II had significant seismic signals caused by the backflow during the impoundment stage, which gradually weakened as the distance from the dam increased. In Experiment I, the PSD values at the right bank station during the impoundment stage were approximately between -150 dB and -165 dB except for the station G12, and during the dam breaching they were mainly concentrated between -110 dB and -120 dB. At the left bank station, the PSD values during the impoundment stage were approximately between -140 dB and -170 dB, and during the dam-break stage they were mainly concentrated between -120 dB and -130 dB (Figure 3). In addition, it can be determined from the monitored flow rate data that the maximum flow rate for Experiment I was 4.07 cms (Figure 3). Finally, our proposed mechanisms based on seismic physical models (e.g. turbulent flow, bedload saltation, and debris flow) will be discussed with the previous results of numerical simulation.

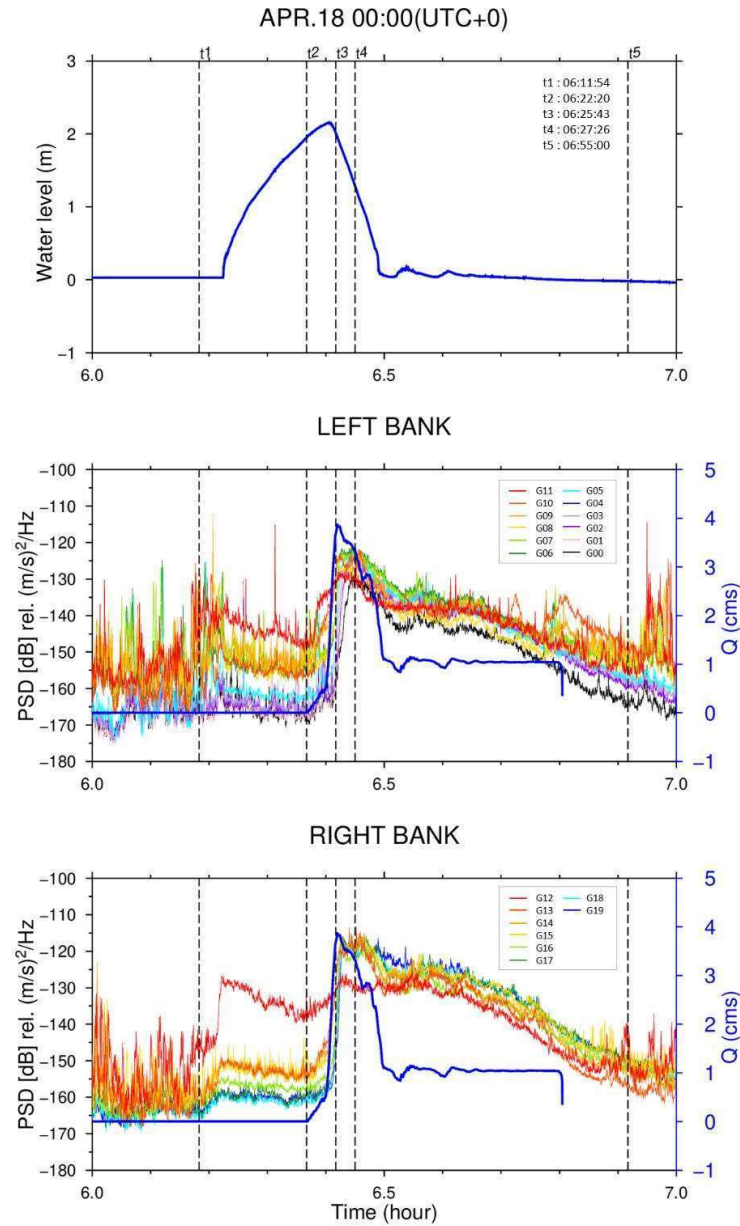


Figure3. Time series of waterlevel, discharge and PSD for Experiment I

Key words : field-scale dam breach experiments 、 seismic array 、 seismic impact experiment 、 time-frequency analysis

(1) National Yang Ming Chiao Tung University/ Wei-An Chao

(2) Master's / Second

(3) ireney7ul6@gmail.com

山崩與地滑地質敏感區變更資料更新暨準則執行檢討

戴東霖¹、林錫宏¹、黃春銘²、簡留玄²、張瓊文³

(1)經濟部中央地質調查所、(2)財團法人中興工程顧問社、(3)國立中央大學

摘要

中央地質調查所已於民國103至105年間完成臺灣全島之山崩與地滑地質敏感區劃設工作，依據地質法第4條第2項規定，每5年應通盤檢討1次，基於環境改變或新證據發現等因素進行山崩與地滑地質敏感區之變更，故有必要重新檢核與更新各項參據資料。環境改變方面，將蒐集近年(公告年~迄今)新增之山崩目錄，重新檢核歷史山崩目錄，確認環境是否改變(新生山崩)、以坡度檢核分析山崩圈繪之合宜性及建置屬性資料。新證據發現方面，利用光達(LiDAR)數值地形，以三維立體方式檢核與彙整光達數值地形判釋之地表變形目錄，確認區位及邊界之合理性，若有遺漏則補充判釋。此外，針對存疑順向坡，以位態資料檢核，資訊不足之區位，使用三角面位態法搭配光達數值地形補充區域位態，同時輔助確認順向坡之圈繪範圍。完成上述資料後，篩除小面積(625平方公尺以下)之零碎崩塌地，再將所有資料聯集且環域外擴5公尺，以供敏感區劃設使用。

地質法實施迄今已累積相當數量的基地地質調查及地質安全評估報告，本計畫亦蒐集這些報告加以綜整，初步修訂「地質敏感區基地地質調查及地質安全評估作業準則」中第十六條至第十八條，主要修訂目的為強調山崩與地滑地質敏感區之調查程序，將原本以調查內容項目為主的說明方式，改為調查程序項目為主。另外「地質敏感區基地地質調查及地質安全評估手冊」也配合作業準則進行修訂，例如加強區域調查及細部調查製圖及圖說規範等。

生成對抗網路於圖形識別的應用-以山崩為例

簡留玄¹、黃春銘¹、謝有忠²、林錫宏²、紀宗吉²

(1)財團法人中興工程顧問社、(2)經濟部中央地質調查所

摘要

山崩目錄為山崩研究的重要基礎，無論是單一場址或是廣域分析，若能累積長年期的山崩目錄，即可探討其時空變遷的遞移概況。傳統上，山崩目錄以人工判釋為主，依據專家經驗利用影像的色調、位置、紋路、方向等資訊進行判斷。由於此方式耗時費力，無法因應短時間內(如災後緊急應變時)產製大面積之山崩目錄需求，因應快速產製需求，山崩自動判釋也隨之而生。目前山崩自動判釋多以網格分為主，其分類門檻以不同波段的光譜值為依據，但因影像偏移或是光譜摻雜雜訊所產生椒鹽效應，造成相同分類的鄰近像元產生誤判。也因此有物件式分類的方式來減少椒鹽效應的影響，然而，物件式分析對單一目標物的切割仍較困難，近期，深度學習的興起使得圖形識別的準確率大為提升，因此本研究嘗試以圖片作為分析樣本進行語義分割，偵測並切割圖片中的山崩物件，達到近似物件式分類的效果。本研究以霧社水庫集水區為測試區，挑選2007年聖帕颱風、2008年辛樂克颱風及2009年莫拉克颱風作為訓練事件，使用生成對抗網路系列中的Pix2Pix演算法進行山崩偵測模型建置。若以訓練事件(辛樂克颱風)之山崩偵測成果比對人工判釋成果，人工判釋山崩目錄有96.8%可被正確偵測，且IoU(Intersection over Union)皆達0.9以上，意指形狀及邊界相當符合，但於清境農場附近之人為開墾區多偵測555個山崩。若以驗證事件(敏督利颱風)之山崩偵測成果比對人工判釋成果，人工判釋山崩目錄僅有66.1%被正確偵測，IoU大多為0.9以上，形狀及邊界也大致符合，於清境農場附近之人為開墾區則多偵測887個山崩。由訓練及驗證成果顯示，本研究之模型似乎有過度訓練的狀況產生，其成因可能來自訓練樣本數量偏少。此外，就人為開墾區的誤判較多情況，未來亦需更多的樣本來協助調整模型。

臺灣南部中高海拔山區潛在大規模崩塌判釋

董英宏¹、謝有忠¹、林錫宏¹

(1)經濟部中央地質調查所

摘 要

本研究為瞭解脊梁山脈高山地區潛在大規模崩塌區位，建立崩塌災害敏感區資料庫，供後續防減災工作規劃與地形演育及區域地質特性調查應用，針對南高山地區判釋與圈繪潛在大規模崩塌。研究區域為南部橫貫公路以南海拔2,000公尺以上山區，判釋作業以比例尺1/5,000地形圖圖框分幅進行，共涵蓋111幅圖幅，面積約800平方公里。研究方法為藉高解析度空載光達數值地形模型所產製之地形坡度圖判釋崩崖與滑動體等地形特徵，圈繪面積10公頃以上或接近10公頃的潛在大規模崩塌，同時搭配航照正射影像、地形圖、地質圖，以及兩期數值地形模型之高程變化來輔助判釋作業。經判釋之潛在大規模崩塌共236處，面積多為20公頃以下；並以南部橫貫公路至卑南主山間分布密度較高，如約255平方公里中分布超過110個。受控於以北北東—南南西走向為主的葉理面，所發育的潛在大規模崩塌多分布於向東與向東南方向傾的坡面上，坡面之平均坡度多約為30度。另一方面，透過兩期數值地形模型高程差異所呈現之地形變化，幫助判釋活動性較高的潛在大規模崩塌。

潛在大規模崩塌判釋與數值地形資料計量分析第一年工作成果

Detail interpretation of potential large-scale landslides and quantitative analysis of DEM first year work outcomes

林慶偉¹、郭麟霖²、紀宗吉³、盧詩丁³、董英宏³、謝有忠³、巫光軒¹、許志宇⁴、郭秀玲²
國立成功大學地球科學系¹、國立成功大學衛星資訊研究中心²、經濟部中央地質調查所³、
致羽工程顧問有限公司⁴

摘要

因應經濟部中央地質調查所整合內政部之空載光達數值地形更新案資料及完成臺灣全島坡地範圍剩餘約 1 萬 9 千餘平方公里未判釋區域之潛在大規模崩塌判釋之規劃，推動「潛在大規模崩塌判釋與數值地形資料計量分析」計畫，本計畫以 5 年分年分區辦理，利用內政部光達數值地形更新案成果進行資料合併加值及視覺化處理，透過新舊兩期光達成果呈現地形變異，並進行潛在大規模崩塌判釋與相關現場調查。

111 年度取得 1,060 幅比例尺 1/5,000 圖幅框之內政部空載光達數值地形更新案資料合併加值及視覺化處理、426 幅比例尺 1/5,000 圖幅框之潛在大規模崩塌範圍與細部地形特徵判釋及 5 處潛在大規模崩塌現場調查。

111 年度完成之 1,060 幅光達數值地形資料合併及視覺化之處理，包含水域資料位相處理、DEM/DSM 多方向陰影圖及陰影鑲嵌、光達成果品質分析圖、數值地形坡度圖、DEM/DSM 降階後全台數值地形成果、多期光達品質比較分析圖及多期地形變異分析圖；海拔 300 至 2,000 公尺坡地及南部橫貫公路西段沿線的潛在大規模崩塌地區範圍與判釋工作部分，依據工作會議討論參考 Varnes(1978)之崩塌模型以及日本地滑學會(2021)之地滑發育期進行崩塌及細部特徵完成 426 幅判釋，並依工作會議結論提供地調所進行圈繪檢核；完成 5 處潛在大規模崩塌現場調查作業，分別位於嘉義縣中埔鄉、嘉義縣大埔鄉、雲林縣古坑鄉、南投縣竹山鎮以及嘉義縣竹崎鄉。5 處現場調查坡面中，嘉義縣-大埔鄉-D037 之調查點坡面之潛在崩塌地形特徵，除人為活動區域外，多有留存且活動特徵較顯著，人工建物亦有出現結構受損之現象，其餘坡面活動性較低。

以鑽孔岩體透水係數分布推估崩塌地滑動深度之可行性研究

熊俊嘉¹、許世孟*¹、廖逸凡¹

(1) 國立臺灣海洋大學

摘要

崩塌地滑動面深度判釋之工作，實務上一般採用方法為崩塌規模推估法、鑽探岩芯檢視、測傾管量測等三類判定方式，其中，崩塌規模推估法與岩芯檢視以人為經驗來判斷滑動位置，與實際滑動面發生位置較易產生誤差；使用測傾管量測是最直接且正確，但會有時效性限制與經費較高的問題。因此，本研究嘗試以迅速且低成本的方式，透過鑽孔透水性質連續分布推估資料，確認滑動面生成位置。

本研究以臺灣山區 24 處重點崩塌地為研究標的，從既有鑽孔岩芯資料與現地水力試驗資料建立與裂隙岩體透水特性有關的因子，選取因子為岩心品質指標(RQD)、大地應力指標(GSI)、剪裂泥厚度(SGI)、崩塌地岩體透水率指標(HCI)、岩體裂隙寬(SW)與岩體破裂指數(SF)，並作為建立岩體透水係數推估模式之自變數因子，再透過主成分分析取得每個地質指標因子權重，給予因子適當的權重值，以因子線性相加方式建立整合性透水係數指標之推估模式。最後，利用迴歸分析技術，選擇不同迴歸模式，獲取最佳岩體透水係數推估模式，並產製鑽孔每米透水係數連續分布圖，分析透水係數變化較大的界面深度，同時比對測傾管監測資料，確認兩者滑動發生位置之一致性。

成果顯示，透過主成分權重分析得知 SW 與 SF 兩因子權重值占全部因子達 5 成，其餘因子權重大小依序為 HCI、RQD、SGI、GSI；迴歸分析成果以冪次公式為最佳，所建立模式判定係數 R^2 為 0.89。最後，本研究以萬大崩塌地為例，依發展之透水係數推估模式預測鑽孔每米透水係數分布，並與測傾管監測資料進行比對，發現透水係數差距較大之深度與實際滑動深度具相關性，顯示岩體透水係數推估模式可作為另一種判定滑動面之方法。

總結以上分析及驗證成果，利用主成分分析決定地質指標因子權重及迴歸分析所建立透水係數推估模式，將能以有效率且低成本的方式判釋崩塌地滑動面發生位置，為防災決策單位提供崩塌地災害管理之參考。

關鍵字：裂隙岩體、主成分分析、透水係數、地質指標

Keywords：fractured rock mass, PCA, coefficient of permeability, geological indices

探討基於事件型崩塌目錄建立河道出流點不安定土砂 潛勢快速評估法之可行性

莊承穎^{1,2}、詹婉妤¹、陳振宇¹

(1) 行政院農業委員會水土保持局、(2) 財團法人農業科技研究院

摘要

莫拉克風災後，大量不安定土砂分布在山區邊坡與河道上，遇上強烈豪雨時可能會轉換成土石流或崩塌等形式的土砂運移，並危及下游的住戶與重要公共設施。然而，不安定土砂多分布於山坡地集水區，調查和分析相當費時費力。為加速管理不安定土砂災害的目標，本研究彙總了2006年至2022年事件型崩塌目錄中各年度的新生崩塌面積和共計17年的崩塌發生頻率，並以QPESUMS網格建立全台各網格的地文脆弱度指標。再透過全島數值地形模型擷取中央和縣市管河川與道路交會處的河道出流點(共1,141處)，及其集水區之地理資訊，建立不穩定土砂潛勢的快速評估法，以快速找出「可能受集水區不穩定土砂影響之高風險河道出流點」，作為後續進一步分析是否致災的研究目標。結果顯示，本研究提出之快速評估法能有效分類河道出流點的風險值，且風險值分群結果與BigGIS所蒐集的衛星影像顯示的情況相符，對於快速篩選不安定土砂風險集水區之應用上具有一定的參考價值。

關鍵字：不安定土砂、地文脆弱度、事件型崩塌目錄

建構臺灣活動構造三維數值模型資料庫：活動斷層與 地震帶

楊清淵¹、柯明淳¹、陳文山²、楊耿明³、洪嘉佳²、方星尹³、吳佩庭³、
吳品蓉³、柯孝勳¹

(1)國家災害防救科技中心地震與人為災害組、(2)臺灣大學地質科學系、(3)成功大學
地球科學系

摘 要

國家災害防救科技中心自2016年起持續與臺灣大學地質科學系與成功大學地球科學系合作，建構全臺的活動斷層與地震帶等可能引發地震的活動構造三維數值模型資料庫。結合各種地質與地球物理研究，包含鑽井、地表斷層分布、平衡剖面、地震重定位序列、震源機制解與地下速度構造，本研究將地調所公告與學界研判的活動斷層，以及具有高地震潛勢的地震帶，皆透過GOCAD® Mining Suite-Mira Geosciences軟體完成三維數值模型建構工作。建構完成之活動斷層模型，包含斷層分布位置、幾何型態、長度、走向與傾角等基礎資訊，除了協助地震事件之發震構造與後續可能餘震分布的研判工作，同時也提供地震衝擊模擬之模型資料。地震帶模型建置工作則藉由過去30年（1990-2019）的地震事件，劃分出全臺地震好發的區域，資料包含地震密集分布區域、空間分布範圍、最大地震規模、好發地震類型等，並給予相對應的地質解釋。目前活動斷層與地震帶數值模型資料庫已逐步建置完成，並規劃於年底進行專書與模型資料發表，提供有需求之人員申請使用。

臺灣地震模型—中央山脈斷層系統的特性與參數

莊怡蓉^{1,2}、徐濔德¹

¹ 國立臺灣大學地質科學系

² 財團法人中興工程顧問社防災科技研究中心

臺灣位處活躍的板塊邊界上，面臨許多地震相關的災害威脅。在國科會（原科技部）的資助下，2012 年地科學界組成了臺灣地震模型（Taiwan Earthquake Model, TEM）計畫團隊，並透過全球地震模型基金會（Global Earthquake Model Foundation, GEM）的組織每年與日本及紐西蘭相關學者舉辦地震災害評估研討會，互相交流技術。為了進行機率式地震危害度評估（Probabilistic Seismic-hazard Analysis, PSHA）分析，臺灣地震模型已建立了全臺陸域的孕震構造資料庫，基於構造地形證據，並蒐集國內、外學者的研究成果，繪製 45 條孕震構造，並計算斷層長度、寬度、面積、規模、長期滑移速率、地震回歸週期等參數。然而受限於部分構造的地質資料不足，過去建立參數時常採用保守的方式推估各個參數，而近年來持續增加的新資料有助於更新這些斷層參數，2022 年 9 月 18 日的關山一池上地震事件更讓我們獲得許多寶貴的新地質資料。

根據中央山脈東麓前緣一系列抬升的河階，我們認為該處應存在一向西傾的中央山脈斷層。前人研究曾經提及中央山脈斷層的存在，但由於並未找到斷層露頭或是層位落差的證據，斷層的特性幾乎無從得知，也因此我們稱呼其為中央山脈構造，藉以和地調所公布的活動斷層作區分。過去所繪製的中央山脈構造主要沿著山脈東麓前緣，而去年關山一池上地震之主要地表破裂發生在縱谷中央，大部分沿著 1951 年 11 月臺東地震的地表破裂位置，顯示此一構造比原先所想的要複雜。因此我們將原先的中央山脈構造，以及關山一池上地震的地表破裂跡統稱為中央山脈斷層系統。其中關山一池上地震的地表破裂位置基本上與根據 1951 年地表破裂所定義之玉里斷層相似，因此我們在資料庫中新增了玉里斷層，其為中央山脈斷層系統的其中一個分支，北起玉里鎮春日里，南至玉里鎮長良，總長約 25 公里，滑移型態為逆移兼左移，具有西傾的斷層面。另外 9 月 17 日及 18 日的地震為兩次不同的破裂事件，根據震前震後的 InSAR 影像對比，917 地震的地表變動集中於池上以南，918 地震的地表變動則集中於池上以北，因而我們將中央山脈構造以池上為界分為南、北兩段，北段自瑞穗至池上，長約 45 公里，南段自池上至卑南，長約 41 公里。未來將持續蒐集相關地質及地震資料，以擬定中央山脈斷層系統的其餘孕震參數。

關鍵字：中央山脈斷層系統、玉里斷層、關山一池上地震、斷層參數、臺灣地震模型

口宵里斷層活動潛勢評估

莊怡蓉^{1,2}、李易叡^{1,2}、蕭詩涵³、林耕霈⁴、景國恩³、莊昀叡⁴、張午龍⁵、陳建良⁶

1 財團法人中興工程顧問社防災科技研究中心

2 國立台灣大學地質科學系

3 國立成功大學測量及空間資訊學系

4 國立台灣大學地理環境資源學系

5 國立中央大學地球科學學系

6 經濟部中央地質調查所

摘要

2021 年中央地質調查所更新活動斷層分布圖，新增初鄉斷層、口宵里斷層、及車瓜林斷層，本研究針對長約 21 公里的口宵里斷層進行活動潛勢評估以瞭解口宵里斷層對台南地區的風險危害程度。本研究蒐集地質資料，彙整野外露頭、槽溝開挖、震測剖面、平衡剖面、地球物理資料、地震深度分布，了解口宵里斷層的地下幾何形貌，並參考平衡剖面圖建立口宵里斷層與鄰近烏山頭斷層、六甲斷層的幾何關係。根據平衡剖面資料，該區域的斷層幾何模型可分為三種，模式 A 為口宵里斷層屬於烏山頭斷層的次生斷層，六甲斷層與烏山頭斷層接到基底滑脫面；模式 B 為口宵里斷層穿過烏山頭斷層接到六甲斷層，六甲斷層接到基底滑脫面，烏山頭斷層存在但不活動；模式 C 為口宵里斷層為烏山頭斷層的次生斷層，而六甲斷層為盲斷層。本研究利用二維斷層模型反演速度場資料來搜尋最佳斷層參數解，本研究認為最佳的幾何模型為口宵里斷層西傾 32.2 度，深度 4.8 公里，斷層下部存在一東傾約 10 度的基底滑脫面；斷層西側存在六甲斷層，六甲斷層可能以盲斷層的形式存在。此外，由於烏山頭斷層無活動證據，因此本研究模型中不考慮烏山頭斷層。在固定斷層幾何參數後，本研究利用 BLOCKS、TDEFNODE 及 Baseline Inversion Model 等 3 種三維斷層模型，反演速度場獲得加權平均滑移虧損速率為 3.9~15.3 mm/yr。由於斷層最近一次地震活動時間未知，本研究採用 Poisson 模式進行評估，起算時間為西元 2022 年，得到未來 30 年、50 年及 100 年發生地震矩規模 6.1~6.7 的機率為 31.2%、45.0%、66.3%，而未來 30 年、50 年及 100 年發生地震矩規模 6.5 以上的機率為 1.0%、1.6%、2.9%。口宵里斷層受限於長度及幾何，發生規模 6.5 以上的地震機率較低，但發生規模 6 以上的地震機率相當高，仍不能忽略口宵里斷層活動對台南地區的影響；根據地質平衡剖面資料及速度場擬和結果，口宵里斷層之下存在基底滑脫面，本研究不排除口宵里斷層隨著基底滑脫面而被誘發活動的可能性。

關鍵字：口宵里斷層、斷層二維模型、滑移虧損率、活動潛勢評估、台南地區

Wellbore leakage risk assessment of geologic carbon storage – A case study

Ya-Mei Yang¹、Chia-Wei Kuo²、Bo-Heng Lee¹

(1) Industrial Technology Research Institute, Taiwan、(2) Science and Technology Research Institute for DE-Carbonization (STRIDE-C), National Taiwan University

Abstract

Risk assessment of geological storage sites is necessary to ensure the feasibility and safety of the project, and well leakage is usually considered the primary concern of geological risk. In this study, to establish a site-specific case study of wellbore leakage risk assessment, we applied the latest integrated risk assessment model tool, NRAP-Open-IAM, developed by US DOE National Risk Assessment Partnership (NRAP), to a carbon storage candidate site in Taishi Basin, Taiwan. The work processes of wellbore leakage assessment at the case study site include the collection of required site-specific data as the input, injection scenario simulations, wellbore leakage risk simulations, and subsequent leakage risk assessment and analysis as the output. The Changbin candidate site with publicly available data was chosen for the case study, and the reservoir model was established with TOUGH. Large-scale single-well injection simulations with an injection rate of one million tons of carbon dioxide per year were performed. The simulated results at the top of the reservoir were then extracted and converted into NRAP-Open-IAM input files. Then we used NRAP-Open-IAM to simulate the possible well leakage risk scenarios given variable wellbore permeability under the selected injection simulation at the site. The analysis results show that since there are no existing deep wells in the area and the surrounding groundwater wells are located far away, the risk of leakage from existing wells is extremely low. Therefore, the possible leakage path in the future would be the monitoring and injection wells within reach of the carbon dioxide plume in the field. It is recommended to make a proper monitoring plan as a preventive measure to reduce the leakage risk at the site.

司法院釋字第742號解釋及地質敏感區關聯研究

許晉璋¹、張育仁²、盧詩丁¹、鄭文昕¹、林樞衡¹

(1)經濟部中央地質調查所、(2)內政部營建署陽明山國家公園管理處

摘要

地質法於 2011 年施行後，依據該法及地質敏感區劃定變更及廢止辦法將具有特殊地質景觀、地質環境或有發生地質災害之虞之地區進行公告的地質敏感區，屬於基於法律授權，且對廣域範圍、多數不特定人民對外發生法律效果的實質意義之法規命令。而都市計畫及其通盤檢討變更也具有類似性質，除針對特定人而歸屬行政處分之個案變更，亦屬針對廣域範圍的法規命令。然而都市計畫內涵屬於計畫、規劃，與地質敏感區係為區域或範圍之概念內涵不同，且都市計畫內容包含多種不同的土地使用分區，架構上較地質敏感區複雜。

有關於都市計畫的法律定位，司法院釋字第 156 號解釋文說明主管機關變更都市計畫係公法上之單方行政行為，如直接限制一定區域內人民之權利、利益或增加其負擔，即具有行政處分之性質。近年的司法院釋字第 742 號解釋則指出雖都市計畫定期通盤檢討所作之變更屬法規性質，惟如其中具體項目有直接限制一定區域內特定人或可得確定多數人之權益或增加其負擔者，就該部分則應准許提起訴願等救濟；至於個案計畫變更部分則因具有明確的相對人因此歸屬於行政處分。該解釋文顯示即便歸屬於法規命令，其內容亦可能包含涉及行政處分部分，出現原則屬法規、行政處分為例外的情況，必須視行政行為造成的影響而定。

檢視地質敏感區之公告內容，地質敏感區面積大者如地下水補注地質敏感區可達數萬公頃，小者如地質遺跡地質敏感區僅數公頃或數十公頃，小面積區域內的利害關係人是否與釋字第 742 號解釋文中可得確定多數人之概念作類比上有討論空間。此外涉及地質敏感區時所需辦理的基地地質調查與地質安全評估，其影響程度是否被認定或達到增加一定區域內特定人負擔的程度，這些議題由於地質敏感區係近十年內出現的新法規命令時日尚淺，遠不及已施行數十年之都市計畫具有眾多案例，關於地質敏感區的法律見解尚未充分討論以至更臻成熟，未來可能尚須更多實際案例及各界持續探討。

關鍵詞：地質法、地質敏感區、都市計畫、司法院釋字第 742 號解釋

應用橢圓-理想曲面法與簡易土石流模式於大規模崩塌之快速評估-以大規模崩塌潛勢區(新北市-汐止區-D003)為例

李哲宇⁽¹⁾⁽²⁾、陳振宇⁽¹⁾、高百毅⁽¹⁾、戴義欽⁽³⁾

- (1) 行政院農業委員會水土保持局 技術研究發展小組
- (2) 財團法人農業科技研究院
- (3) 成功大學水利及海洋工程學系

摘要

降雨引致之大規模崩塌發生後，除直接造成邊坡破壞掩埋坡腳外，其產出之巨量土石運移過程亦可能形成土石流，或阻塞河道形成堰塞湖等二次災害。現行大規模崩塌潛勢區之判識，多仰賴地表地形特徵進行圈繪，對於實際可能的崩塌深度與量體，以及崩塌後土砂運移之情形，仍亟待進一步研究。

2022年東北季風及尼莎颱風之共伴效應造成連日豪雨，位於新北市汐止區鵠崙的大規模崩塌潛勢區(新北市-汐止區-D003)之邊坡土壤因含水量增加而產生崩塌，崩塌土砂堆積於下方土石流潛勢溪流(新北 DF197)河道，造成溪流通洪斷面縮小，上游有蓄水現象。為發展大規模崩塌之土砂量體與其運移影響範圍的快速評估方式，本研究以此案例為例，使用橢圓-理想曲面法(ICS)，藉由選定數個地表特徵點，快速評估出可能的崩塌滑動面及土砂量體。再將此土砂量體提供予BigGIS內建之簡易土石流模式(SDF model)進行土砂運移模擬，並與災後之UAV空拍及遙測影像成果進行驗證探討。

結果顯示，對大規模崩塌潛勢區(新北市-汐止區-D003)可利用橢圓-理想曲面法(ICS)獲得與實際情形相近的崩塌範圍、深度及崩塌量體；同時，簡易土石流模式(SDF model)進行土砂運移模擬之成果亦與實際情況相近。未來可嘗試以本研究提出之方式，快速評估各大規模崩塌潛勢區可能發生之情境，並提供疏散避難規劃等防救災相關參考依據。

關鍵字:大規模崩塌、土石流、橢圓-理想曲面法、簡易土石流模式

臺灣地震誘發山崩預測模式

Taiwan earthquake-induced landslide prediction model

李錫堤 張瓊文 謝有忠 林錫宏 紀宗吉

近年來全世界強震事件頻仍，臺灣亦遭遇 2018、2019 年花蓮地震及 2022 年池上地震之地震災情。地震災害除了最直觀的結構物破壞之外，另一項規模大且可能持續影響數年的災害是地震誘發山崩。1998 年瑞里地震及 1999 年集集地震都曾經誘發大量山崩，集集地震誘發山崩更影響中部地區後續山崩土砂輸出達 6 年左右。建置地震誘發山崩預測模式，可提前了解設計地震強度可能引發之山崩規模，或可於強震後快速推估山崩熱區，在衛星影像尚未取得之前，提供進行空拍機勘災規劃。

本研究之地震誘發山崩預測模式主要針對落石及岩屑崩滑型山崩，以集集地震誘發山崩目錄、6m 光達數值地形因子、岩性因子及誘發因子愛氏震度建立山崩潛感模型，模型建立後將愛氏震度值代入 0，得到沒有受到地震力時之潛感值，此值主要由地形及岩性因子所貢獻，與誘發事件無關，稱為事件獨立型山崩潛感值或基礎潛感值。將基礎潛感值分為不同值域，各值域之誘發山崩崩壞比與愛氏震度關係良好，以此建立基礎潛感值-愛氏震度-崩壞比之擬合曲面經驗式，該經驗式代入預測的或即時的愛氏震度資料，所得之崩壞比圖可用以推估誘發山崩區位及面積。

本研究建立之地震誘發山崩預測模式包含幾項關鍵點：(1)光達數值地形因子如何得到最佳解釋地震誘發山崩效果?(2)地震強度因子中最大地動加速度(PGA)及最大地動速度(PGV)為人所熟知及愛氏震度之取捨?(3)如何由常見山崩潛感模型的相對性潛感值轉換為可供土砂推估的實際量值?

山崩潛感分析中的許多潛在因子是取自地形資料，例如：坡度、粗糙度、曲率等地形因子，用不同尺度量測及運算出來的因子會有不同的輸出值，且並非高解析度地形資料就可以直接得到高效度的因子。山崩潛感分析之高效度因子意指該因子數值高低能有效解釋山崩量的大小，可利用成功率曲線的曲線下面積(AUC)來加以評估。本研究因建模範圍高達 16600 km²，故採用降階為 6m 之光達數值地形產製各項地形因子，光達數值地形因其高密度掃描點雲特性，降階為 6m 後之地形細緻度表現仍高於內政部 5m 航照數值地形。為求得最適量測尺度因子，近年國外學者常以數值地形降階不同尺度或以不同大小的移動視窗先對原始數值地形平滑化，再以 3x3 核心產製各尺度因子，並分別評估各尺度因子效度，以找出最適量測尺度因子。本研究除了以平滑化移動視窗法建立不同尺度之因子外，另採用大核心網格法建立不同尺度之因子，大核心網格法也就是以 3x3 以上如 5x5 核心等計算因子值。各因子以上述兩法求得最高效度之因子量測尺度，提供山崩潛感分析使用。

應用於評估地震誘發山崩之地震強度指標，以最大地動加速度(PGA)、最大地動速度(PGV)及愛氏震度(Ia)最為常見，PGA 與 PGV 僅代表單一時間點的地動行為，無法代表完整地震歷時期間邊坡受到地震能量的大小。愛氏震度以類似能量的觀點來指出完整地震歷時期間地表受到地震晃動的強度，一般認為與地震誘發山崩有更好的關係。本研究以成功率曲線評估顯示，芮氏規模 7 以下的瑞里地震與池上地震，三種地震強度指標對地震誘發山崩均有不錯的效度，PGV 略優；而芮氏規模 7 以上的集集地震，強大的地震能量造成較長時間的晃動，其誘發的大量山崩與愛氏震度有更好的關係，其次是 PGA，再其次是 PGV。由集集地震各強震站之 PGA、PGV 與愛氏震度之關係也可發現，一個 PGA、PGV 數值可對應到幾個數

值相差甚大的愛氏震度，顯見芮氏規模 7 以上地震之 PGA 或 PGV 無法代表強震整體釋放的能量。顧及強震需求，本研究採用愛氏震度做為誘發山崩模式之地震強度因子。

目前國際上地震誘發山崩預測模型主要還是著墨在發生山崩的概率上，能進一步推估山崩面積的模型非常少見，本研究以瑞里地震與集集地震誘發山崩資料，建立誘發山崩崩壞比與基礎潛感值、愛氏震度兩個獨立變數間之擬合曲面經驗式。本研究已建立全臺基礎潛感圖，未來代入愛氏震度即可得到地震誘發山崩崩壞比分布圖，崩壞比圖配合地形單元如集水區或斜坡單元，計算地形單元內所有網格之崩壞比總和，乘以網格面積，可得到預測山崩面積。若要進一步推估山崩區位，可將各斜坡單元預測之山崩面積依序分配於斜坡單元內高崩壞比網格位置，所得區域可視為地震誘發山崩熱區。

關鍵詞： 地震誘發山崩、光達數值地形、最適量測尺度、山崩預測模式

火山地區災害潛勢影響之暴露量初步評估

柯明淳、黃明偉、楊清淵、塗冠婷

國家災害防救科技中心

摘要

鄰近於大台北都會區的大屯火山群於近年被認定為活火山後，災害防救法已針對火山災害的相關防治工作進行規範與說明，經濟部中央地質調查所依據相關規定，以4年期計畫進行更新火山災害潛勢圖資，國家災害防救科技中心（後簡稱為災防科技中心）肩負災時應變作業任務，預先針對受火山災害影響範圍內之保全對象進行探討，並建立災害主題資訊，於火山警戒等級提升時提供參考資訊予中央災害應變中心或陽明山國家公園管理處作為應變作業之參考資料；就現階段而言，本研究團隊應用中央地質調查所於2021年初公布的新版熔岩流、碎屑流等火山潛勢，整合於災防科技中心現有內政部國土測繪中心建物輪廓資料的靜態圖資與中華電信公司長寬500公尺網格單元的行動通訊人流動態資料，藉以了解整個火山災害潛勢範圍內保全對象之狀況。根據初步之分析結果，在熔岩流潛勢影響範圍內，約涵蓋1,103筆建物輪廓，後配合門牌數與實際在地民眾居住戶數，未來可視防災計畫需求後進行災害強化評估作業；而結合行動通訊人流統計資料與熔岩流潛勢範圍，平日凌晨0時至3時平均約落在1,135人；於上午6時人數會開始增多至2,498人；於中午12時則達到峰值為5,946人，而後隨時間再逐漸下降。故未來若遇實際噴發時應可有效協助相關單位進行與掌握疏散撤離人數之參考資料。而目前本工作仍在持續蒐整大屯火山區域的暴露量圖資，如受影響的重要設施、路網與土地利用（建物、林地等）等基礎資料，藉以依據火山災害潛勢圖持續擬定未來可能火山災害情境，設定可於應變時使用之火山災害情境主題。

活動構造三維數值模型於震後應變資訊研判之協助- 以0918池上地震為例

柯明淳、楊清淵、黃明偉、塗冠婷
國家災害防救科技中心

摘 要

每當發生規模5.0或震度到達5級之地震時，各級災害應變中心之人員便須針對強震區域進行人員或設施的安全查報作業，若面臨連續發生的地震事件時，在不知是否有更大規模之地震發生，更是加重管理人員於查報工作進行時之壓力；然地震發震位置、機率受控於地體構造的活動，在地下地質資料未明確時，便無法有效協助研判之情況下，導致相關工作仍處於高張力的挑戰中。因此，國家災害防救科技中心、國立臺灣大學與國立成功大學於2015年起，將臺灣地下地質構造資料建置成具有向量化的活動構造三維數值模型（3D Geological Structure Model），改變現在因受限於東西向剖面資料所採用側投影之方式，希望透過三維的地質模型能有效協助釐清主震發生之原因與研判可能餘震發生的位置。以2022年0918池上地震為例，中央氣象局所公布之地震事件震源陸續定位於三維數值模型於並加入發生時序後，可明顯發現於09月17日晚間規模6.4地震後，地震事件雖主要分布於中央山脈斷層與池上斷層交界位置，但其發生時序方向不同於規模6.4地震的左移破裂機制以及構造方向，故當時已提醒相關應變值班人員注意後續可能再發生規模較大之地震；而次日的規模6.8主震發生後，餘震事件之發展則與左移破裂機制以及構造方向相似，地震發生頻率則逐步降低。由此可見，近年所建置之活動構造三維數值模型確可有效協助震後應變作業之協助，然每次地震發生時，資料分析時間至提供管理者資訊之時間有限，目前已開始嘗試將本三維數值模型加入自動化定位模式，以提升應變時所需之分析效率。

宜蘭海脊南北嘴區域海底仿擬反射推導熱流探討

南沖繩海槽張裂前緣熱特徵

許堯¹、許鶴瀚¹、江協堂²、劉家瑄³、陳松春⁴、林依蓉⁴

(1)國立臺灣大學海洋研究所、(2)研經工程顧問有限公司、(3)國立臺灣大學海洋中心、(4) 經濟部中央地質調查所

摘要

南沖繩海槽是位於臺灣東北方海域的弧後張裂盆地，過去認為南沖繩海槽其構造上有延續至宜蘭平原，但是東經 122.5 度發現斷層構造線走向由南沖繩海槽東西向轉變成宜蘭海脊南北嘴區域東北西南走向，這個觀測對於過去所認為的構造延續問題直至今日仍不明確。過去在南沖繩海槽我們收集的熱流數據顯示南沖繩海槽由於張裂火成活動及熱液活動出現高熱流值，同時在宜蘭近岸龜山島周邊海域也顯示具有高熱流值分布，但是在熱構造上南沖繩海槽是否延續至宜蘭平原仍須更多熱流上觀測的證據。由於在宜蘭海脊區域較硬的海床使得利氏探針在熱流數據收集上受到限制造成資料分布較少情形，幸運的是在宜蘭海脊南北嘴區域震測剖面上觀測到海底仿擬反射的震測特徵，海底仿擬反射是由於甲烷水合物或是氣體水合物受地溫梯度影響而解離成自由氣體形成強烈聲學阻抗介面，在震測剖面上出現的一強反射面特徵。因此，本研究將會辨識震測剖面上海底仿擬反射分布，利用海底仿擬反射我們便可以推算在特定深度之溫度，結合利氏熱探針所逆推出沉積熱導係數及海水溫度，便可以建立該區地溫梯度進而推算出熱流。對於熱流資料收集困難區域有更多的資料覆蓋，拓展先前地熱探針所收集既有地熱資料。本研究重新對剖面資料進行速度分析並且經時深轉換成深度剖面，結果顯示在宜蘭海脊南北嘴區域水深 800-1100 公尺海床深度之下出現海底仿擬反射特徵，同時發現宜蘭海脊北嘴海底仿擬反射出現於海床下深度是淺於宜蘭海脊南嘴，而本區域已知主要水合物類別為二氧化碳水合物，利用其溫壓相位曲線可得知海底仿擬反射深度之溫度，我們得知此區域海底仿擬反射推導熱流值範圍約在 20-180mW/m²。我們首先探討海脊南北嘴區域性熱流分布，我們認為所推導熱流值應受當地構造影響產生流體移棲出現差異性，接著比較利氏探針熱流資料與 BSR 推導熱流資料差異性及優勢，最後總結出此區域的熱流在南沖繩海槽西端前緣所代表意義。

關鍵字：南沖繩海槽；宜蘭海脊；海底仿擬反射；熱流

Near-offshore active faults in SW Taiwan and their tectonic implications

Chin-Yeh Chen¹、Yunung Nina Lin¹、Ho-Han Hsu²、Yu Wang³

(1)Institute of Earth Sciences, Academia Sinica

(2)Institute of Oceanography, National Taiwan University

(3)Department of Geosciences, National Taiwan University

Abstract

The onshore and offshore area of SW Taiwan has been proposed to demonstrate tectonic escape in studies published more than 20 years ago. Features key to tectonic escape are the major strike-slip faults that host large horizontal motions between the blocks, such as the Chaochou fault, the Kaoping fault and the Chishan-Youchang fault from east to west in the onshore area. However, the role these faults play has been challenged in many later studies during the past 20 years; the idea of tectonic escape and its affected extent in SW Taiwan still await more corroboration. This study aims to explore the evidence (or counter-evidence) of tectonic escape in near-offshore SW Taiwan by reprocessing vintage seismic data acquired by the R/V Ocean Research 1, Ocean Research 2, as well as the new data acquired by R/V New Ocean Research 1. We design an enhanced processing flow to improve the signal-to-noise ratio of these 30-year-old seismic data. In addition, to overcome the limitation of short offsets, we conduct systematic velocity testing to obtain the best velocity model for migration. The reprocessed data show significantly improved imaging quality and allow a detailed reinterpretation of the near-offshore active faults as well as their tectonic implications.

經典岩心、珍藏海洋：台灣海洋岩心數位典藏之現況 與發展

Advances in marine core digital archives (MAR-CODA) in Taiwan

陳婷婷¹、尤柏森¹

(1) 財團法人國家實驗研究院 台灣海洋科技研究中心

摘要

為能瞭解並掌握台灣鄰近海域底質特性及其時空演變，我們針對關鍵海域整合岩心分析資料，以建構一『台灣週邊海域海洋岩心數位典藏 (MAR-CODA; MARine COre Digital Archives)』，並透過時間與空間雙向並進的策略，延伸數位資料的深度與廣度。其中非破壞性之岩心量測技術具備快速分析、經濟成本且超高解析度等優點，不僅是國際研究船（美國聯合果敢號、德國太陽號、法國瑪麗安·杜帆妮）以及國際級海洋岩心庫（如ODP-IODP 計畫日本高知岩心庫）必要分析項目外，同時，也是海洋岩心數位典藏規劃重點。有鑑於此，我們特別挑選了涵蓋東海陸棚、台灣海峽、西南海域、東部外海等關鍵海域共計67個站位，進行多重感應源岩心紀錄器（MSCL; Multi-sensor core logger）之非破壞性量測，取得海床表層之物理及聲學重要參數，這包括壓縮波（P波）波速、統體密度、磁感率、孔隙率、粒徑大小、聲阻抗值、電阻抗值、聲衰減率等。在時間分佈上，每站位之箱型岩心沉積物平均長度約48公分，提供近代沉積物紀錄與海洋環境變遷。以1公釐超高解析度之量測，共獲得193,560筆岩心非破壞性資料之時空變化。這一海洋岩心非破壞性數位資料的建置不僅提供了台灣鄰近海域之區域性海洋環境，亦提供岩心比對之重要資料。未來持續強化台灣海洋岩心數位典藏之內容與功能，並朝向台灣海域高解析度之非破壞性地質資料的目標邁進。

勵進研究船之 Gondola 聲納系統維護保養 Maintenance of Gondola Sonar System on R/V LEGEND

蔡仲霖¹、劉紹勇¹、許景翔¹、黃俊傑¹、林聖心¹、陳鼎仁¹、
曹庭綸¹、陳虹榜¹、余尚學¹、郭芳旭¹

¹財團法人國家實驗研究院台灣海洋科技研究中心
Taiwan Ocean Research Institute, National Applied Research Laboratories

摘要

勵進研究船 *R/V LEGEND* 之科儀設備當中最基礎卻不容忽視的部分為聲納系統，包括淺海與深海型多音束聲納(MBES)、單音束聲納(SBES)、底質剖面儀(SBP)和都卜勒流剖儀(ADCP)，自營運以來所收集的資料在質與量上皆有明顯的提升。有別於國內其他研究船將聲納系統直接裝在船側，勵進研究船之聲納系統皆裝載在位於船底下方 1.2 米之聲納載台(Gondola)上，此設計可以有效減少航行時產生的氣泡噪音來提升資料品質。勵進研究船自 2019 年正式啟用以來進入第五年，不論船舶機械設備或科學儀器設備皆有所耗損，因此，定期的保養維護設備對於維持研究船航行與科學調查能力是必須的。但是，相較於其他可拆卸式儀器設備能在岸上進行保養，Gondola 之聲納系統維護受限於航次安排及作業環境，時間與空間上限制較多，僅能利用塢修期間來進行施作，同時保養維護成本也高上許多。Gondola 的保養項目不單是清除附著生物，同時，為了保持音鼓面的平整性，須將表面打磨平整至原廠建議粗糙度，同時拆下周圍蓋板檢視內部情況，以確保聲納系統能夠保持在最佳狀態。儘管海洋中心測繪團隊已成功使用勵進研究船收集數量龐大且高品質的聲納資料，但仍希望能夠更穩定的運作及維持聲納系統的工作能量，以持續提供學研界更高精細的聲納資料，更加完善台灣周圍海域調查。

關鍵字：聲納載台、聲納系統、勵進研究船

Keyword: Gondola, Sonar System, *R/V LEGEND*

利用福衛七號觀測 2022 年東加火山噴發 所引起之大氣波動傳播特性

謝凱倫¹、陳佳宏¹

國立成功大學 地球科學系暨研究所 太空天氣研究室

西元 2022 年 1 月 15 日當地時間 17:14:45 東加火山大規模噴發，造成多人死亡及大規模破壞，是 30 年來最嚴重的一次火山噴發事件。次此的火山噴發能量以多種波動的方式在地球上傳遞，次聲波、Lamb waves、聲波、重力波、海嘯……等，其中造成的大氣波動在 24 小時內傳遞到全世界。

本研究主要在探討 2022 年東加火山噴發對不同高度所引起之大氣波動傳播特性，使用福衛七號 IVM 現地量測電離層電漿資料、地面氣壓站資料、海潮計資料等工具對其進行觀測和分析。福衛七號 IVM 觀測結果顯示，東加火山的噴發對電漿濃度產生顯著的變化，並且有往西傳播的趨勢。同時，東加火山噴發也對地面氣壓和海潮計的觀測值造成明顯的波動。為了瞭解這些不同大氣高度觀測資料的波動特性，我們利用了小波分析法(wavelet)和帶通濾波器(bandpass filter)等濾波方法進行頻譜分析，結果表明這些波動具有明顯的週期變化。利用這些分析結果，我們提出了東加火山噴發後大氣波傳播的可能方式，推測主要是以水平方向傳播為主，然後再垂直傳遞影響到電離層電漿變化，觀察到有上、下層耦合的證據。這些結果對於深入瞭解東加火山噴發及其對周圍環境的影響具有重要的意義。

(1) 國立成功大學/陳佳宏老師

(2) 碩士/二年級

(3) asd51310235@gmail.com

利用高精度的地震密集網來監測嘉義市底下是 否有孕震帶

共同作者：黃偉宸⁽¹⁾、王維豪⁽¹⁾、葉玉蓮⁽¹⁾

單位：(1)國立中正大學

摘要

嘉義市位於梅山斷層南側以及九芎坑斷層附近，為了看嘉義市下面有沒有孕震帶，我們在嘉義市地區以及附近山區用了 143 個地震儀，嘉義市是一個小地震比較多的地方，所以透過長時間的地震監測，獲得該地區的地震活動規律以及地下構造的情況。當地震發生時，高精度地震密集網可以捕捉到微弱的地震波，進而計算出地震的震源位置、規模以及地震波傳播速度等信息，為我們提供更加準確的地震信息。

透過 EQTransformer 來對所收錄到的地震資料進行挑波，之後用 hypoinverse 進行地震定位，可以發現觸口斷層和九芎坑斷層下面都有線性結構，在嘉義市的東區和南區各有一條線性構造，地震分布於嘉義市 5-15km，從觸口斷層到九芎坑斷層到嘉義市底下有著一條向西傾的地震帶，寬度大概為 10km，還有發現九芎坑南側有一區的密集地震帶，這在斷層圖上是一個空白區域，卻發現了如此密集的地震帶，可能有盲斷層在其中，所以在之後需要更進一步的分析。

關鍵字：孕震帶、密集地震網、線性構造、九芎坑斷層

2022 年 M_L 6.6 關山地震與 M_L 6.8 池上地震的震源時間函數探討

Source Time Functions for the 2022 M_L 6.6 Guanshan and M_L 6.8 Chihshang Earthquakes

黃瑞德¹、林瓊瑤¹、林采儀¹、黃怡陵²、張文彥³、林祖慰⁴、柯明淳⁵

⁽¹⁾中國文化大學地質學系、⁽²⁾國立臺灣海洋大學地球科學研究所、⁽³⁾國立東華大學自然資源與環境學系、⁽⁴⁾中央氣象局地震測報中心、⁽⁵⁾國家災害防救科技中心地震與人為災害組

摘要

本研究以非負解時間域解迴旋分別探討 2022 年 9 月 17 日 M_L 6.6 關山地震及 18 日 M_L 6.8 池上地震的震源時間函數。其中 M_L 6.6 關山地震的破裂較為單純，其震源時間函數可以近似一等腰三角形；而 M_L 6.8 池上地震地破裂相對複雜，經多重破裂分析後，其至少由 5 個子破裂所組成，最大的一個發生在地震開始後的 6 秒，相當於 M_w 6.73。關山地震及池上地震的歷時分別為 8.4 秒和 19.8 秒，靜應力降分別為 1.35 MPa 和 4.16 MPa，相較之下，此暗示關山地震破裂時斷層面上的摩擦更為緩慢地下降。透過 ω^{-2} 震源模型，本研究也估算這兩個地震的拐角頻率為分別為 0.092Hz 和 0.04 Hz，其對應的上揚時間約為 1.48 秒和 3.88 秒，與震源歷時的比值符合 0.1-0.2 的範圍。

關鍵詞：時間域解迴旋、震源時間函數、靜應力降、拐角頻率、上揚時間

Key Words: time-domain deconvolution, source time function, static stress drop, corner frequency, rise time

2023年2月6日 Mw 7.8 及 Mw 7.5 土耳其地震之破裂特性

Rupture Features of the 2023 Mw 7.8 and Mw 7.5 Turkey

Earthquakes

黃怡陵¹、黃瑞德²、張文彥³、林采儀²、林瓊瑤²、邱亦璿²

¹ 國立臺灣海洋大學地球科學研究所

² 中國文化大學地質學系

³ 國立東華大學自然資源與環境學系

摘要

本研究利用週期 100 秒雷利波相速延遲來估算 2023 年 2 月 6 日 Mw 7.8 和 Mw 7.5 兩個土耳其地震的斷層破裂參數，並探討此兩個走向滑移斷層是否如同在鄰近區域發生過的其他歷史地震一般為超剪力破裂事件。經過破裂方向性分析得到的結果：Mw 7.8 地震為單向破裂(unilateral faulting)事件，破裂方向為北偏東 32°，震源歷時 78.85 sec，破裂長度 130.93 km，平均破裂速度為 1.66 km/s；Mw 7.5 地震為雙向破裂(bilateral faulting)事件，破裂方向為北偏東 83°，震源歷時 16.26 sec，破裂長度 144.20 km，平均破裂速度 4.46 km/s。分析結果顯示規模較大之 Mw 7.8 地震破裂長度較 Mw 7.5 地震短，且 Mw 7.5 地震為超剪力破裂事件，但規模較大、斷層機制為更標準走向滑移型態之 Mw 7.8 地震卻非超剪力破裂事件，本研究初步推論此結果是由於先發生的 Mw 7.8 地震於破裂過程中遭遇構造阻擋，導致破裂速度減緩，無法順利釋放的能量進而引發鄰近另一斷層錯動而產生 Mw 7.5 之地震。

關鍵字：2023 土耳其地震、震源歷時、破裂速度、超剪力破裂

Key words: 2023 Turkey Earthquake, source duration, rupture velocity, supershear rupture

基於注意力機制之神經網路運用於現地型地震預警

劉子菱¹、黃鼎中¹、吳逸民¹

(1) 國立臺灣大學地質科學研究所

摘要

地震預警系統透過在地震發生後的極短時間內提供與地震相關的資訊，進而發出警報，有助於減少災害與損失。地震預警系統分為區域型地震預警與現地型地震預警，區域型地震預警難以及時對震央附近的區域發出警告，而形成預警盲区，而現地型地震預警可彌補不足之處，其中 P 波到達後數秒內的最大位移振幅 (Peak initial-displacement amplitude, Pd) 已被視為現地型地震預警的指標，此方法藉由分析 P 波到達後數秒內的 Pd 是否超過特定閾值來判定是否應發出警報。然而，由於地震訊號的複雜性高，若只使用同樣的參數應用於不同區域可能會導致誤報率與漏報率增加，這也使得 Pd 方法成為非線性的問題。由於機器學習擅於解決非線性問題，前人研究中使用長短期記憶神經網路 (Long Short-Term Memory, LSTM) 分析 P 波到達後數秒內的訊號，並使用最大地動加速度 (Peak Ground Acceleration, PGA) 作為是否需發布警報的標準，其研究成果有效提升現地型地震預警的表現。而近年來因為自注意力機制 (Self-attention mechanism) 具有捕捉長期依賴關係、平行計算等特點而使得許多基於自注意力機制的神經網路被廣泛應用於自然語言處理任務中，並且在許多任務上取得較 LSTM 更出色的表現。本研究首先以 LSTM 作為模型架構，並使用最大地動速度 (Peak Ground Velocity, PGV) 作為評估災害性的標準，針對臺灣與日本近期四個致災性地震進行測試，結果顯示 LSTM 模型的誤報率為 9.6%、漏報率為 17.5%，將以此作為基準，使用基於自注意力機制的神經網路進行測試，期望能進一步提升現地型地震預警的效能。

三維地動模擬運算模式－以新城斷層為例

塗冠婷¹、溫士忠²、黃明偉¹

(1) 國家災害防救科技中心 (2) 國立中正大學 地球與環境科學系

摘要

天然性災害的種類繁多，其中災害性地震常會伴隨著財物損失、結構物損壞及人員傷亡等情況發生。然而，天然地震的發生時間及地點無法準確預估，藉由情境地震模擬，可以事先評估災害地震發生時可能造成的地動分布及災害位置。本研究使用數值方法進行三維地震波傳模擬，使用的數值資料包含有限斷層模型、衰減經驗模型、數值地形模型、速度構造、Moho 面及淺層速度構造等。本研究假設位在新竹地區發生 Mw 6.91 之地震事件，模擬北台灣之三維地震波傳遞過程，模擬之最高有效頻率約 0.8Hz。由模擬結果發現有兩個主要的 PGA 高值區域，分別在位在新竹和台北，新竹地區的主要 PGA 高值區域與有限斷層模型的 Asperity 位置相符，且 PGV 及 PGD 的高值區域在近地表的斷層線沿線位置，而台北地區，主要的 PGA、PGV 及 PGD 的高值區域位在台北盆地西南邊，綜合上述的模擬結果，三維地震波傳模擬可有效的模擬震源效應及盆地效應。此外，本次模擬發現在新竹地區的地動值有低估現象，推測與模擬極限及地盤特性有關。

關鍵字：三維地動模擬、有限斷層模型、速度構造

Keyword : ground motion simulation, finite fault model, velocity structure

Southern Array for the Lithosphere and Uplift of Taiwan Experiment (SALUTE):

1. Station Installation and Performance

彭冠箏¹、洪淑蕙¹、曾泰琳¹、林佩瑩²、譚諤³、陳映年⁴、SALUET Team

(1)國立臺灣大學地質科學系、(2)國立臺灣師範大學地球科學系、

(3)中央研究院地球科學研究所、(4)國立中正大學地球與環境科學系

摘要

SALUTE 為三年期國家科學及技術委員會（前科技部）的整合型計劃，主要透過架設密集的寬頻地震網收集地和連續噪訊資料用來研究南台灣與鄰近東部外海區域岩石圈尺度的構造及其動力學，此區域處於歐亞板塊隱沒帶與弧陸碰撞帶的過渡帶，是了解台灣造山運動和演化的重要關鍵地點。在自 2021 年 10 月中起，本研究團隊在國科會和中研院地球所經費資助下於第一年計劃期間，至該區域架設 20 個陸上寬頻地震測站，以及布放 8 個海底寬頻地震儀，組成站間距約 10 公里的十字形地震站陣列。此陣列由西往東橫跨高雄地區、屏東平原、中央山脈南段、台東地區與花東海盆，長約 170 公里；南北線則沿潮州斷層，北延伸至近南橫中段，南到枋山長約 90 公里。第二年計劃增設 10 個陸上寬頻地震測站，主要分佈於十字形陣列的潮州斷層線兩側，以及中央山脈最東緣，使陣列大致呈卅字狀分布。陸上寬頻地震儀和記錄器由台灣地震中心提供，儀器包括 Meridian Compact, Trillium 120P/A & Q330S+,和 CMG-3ESPCDE；海底寬頻地震儀由中央研究院地球所提供。陸上測站將持續紀錄數據至 2024

年7月，海上測站則預計在每年秋天回收取回資料，並在相同位置佈署新的海底寬頻地震儀。本研究將集中於介紹陸上測站的設計以及架設情況細節，並透過所記錄的連續資料評估背景噪訊的功率譜密度和分佈機率以評估資料品質，並分析地理位置和地質條件對背景噪訊和地震波資料的影響，以提供未來改善維護臨時寬頻地震測站資料連續性穩定和品質的參考依據。

Southern Array for the Lithosphere and Uplift of Taiwan Experiment (SALUTE): 2. Preliminary results of P receiver function and ambient noise cross correlation

邵思齊¹、吳文皓¹、柯俊杰¹、洪淑蕙¹、SALUTE Team^{1,2,3,4}

(1) 台灣大學地質科學系、(2) 台灣大學地質科學系、(3) 中央研究院地球科學研究所、(4) 中正大學地球與環境科學系

Abstract

SALUTE is a passive broadband seismic experiment with a total of 30 closely-spaced inland stations and 8 ocean bottom seismometers deployed across southern Taiwan and eastern offshore region for about 2-3 years, beginning in mid-October, 2021. The spanned region lies at a transition from oceanic subduction to continental subduction and arc collision, providing a key place for studying the subduction-collision complex and the early stage of Taiwan orogeny. The experiment is designed to probe deep into the underlying lithospheric structure and dynamics using recorded ambient noise and earthquake waveform data. Here we report preliminary results of teleseismic P receiver functions (RFs) observed at SALUTE stations. Unlike direct body wave or surface wave arrivals, the P RFs that reinforce the secondary phases converted and reverberated at the interfaces with sharp velocity contrasts are more sensitive to diagnose the discontinuous structures like the Moho or intracrustal interfaces. The common conversion point (CCP) stacking technique is adopted to map the lateral variation of the lateral undulation of the crust-mantle interface under the subduction-collision junction area. The resulting CCP image shows the Moho is offset vertically beneath the Chaochou Fault by about 4-5 km and then gently dips to the east. On the other hand, surface wave phase and group velocity dispersion data, especially measured by shorter period Rayleigh waves extracted from cross correlation functions (CCFs) of ambient noise between stations, can provide much better constraints on laterally and depth-varying shear wave velocities of the crust beneath the array. By jointly interpreting the resulting P RFs and noise-derived Rayleigh wave dispersion, we expect to unravel the detailed crustal velocity and Moho structures beneath southern Taiwan with unprecedented resolution.

利用短周期地震網研究雲嘉麓山帶孕震構造特性

黃有志¹、溫士忠²、陳映年²、林哲民¹

(1)國研院國家地震工程研究中心、(2)中正大學地球與環境科學系

摘要

臺灣地區受到板塊碰撞影響，透過地震活動釋放累積的應力，但是平均約30-40年會發生大規模災害地震。西部平原的都會區人口密集，仍有許多老舊、未補強的建築，地表鬆軟的沖積層也容易造成震波放大，並伴隨土壤液化等災害。雲嘉地區較為嚴重的災害歷史地震，皆屬淺源地震，具有高地震危害潛勢。雲嘉麓山帶有複雜的斷層系統，除了臺灣地區常見的逆衝斷層之外，也有許多橫移斷層，盲斷層則可能潛伏在沖積平原底下。值得注意的是，這三種不同類型的斷層，地表的破裂型態與災情分布等特性並不相同。須加以評估每條斷層的活動程度及關聯性，了解是否會彼此觸發活動，導致更為嚴重的災情。

為增進對於雲嘉麓山帶地震活動特性之了解，依照現有觀測的地震活動與斷層分布情形，選定18個地點，設置較為密集的短周期臨時地震觀測網。於西元2021年10月開始，初步完成此地震觀測網之架設，並規劃每3-4個月進行測站維護與資料下載。西元2022年1月24-28日進行第一次維護，部分測站新增太陽能板及電池。最後共計有1站接交流電、2站用電池、15站裝設太陽能板供電。4月18-21日進行第二次維護，並確定所有測站供電穩定，可接收GPS衛星訊號進行校時。但是在9月12-15日進行第三次維護，及今年1月9-12日最近一次維護時，發現少數測站的GPS天線損壞，必須更換。在觀測網運作期間，發生三個顯著有感地震，分別是編號111002、111017和111047，剛好都發生在地震網東側邊緣。其中3月19日編號111017的規模最大，有前震、震源機制解是走向滑移。

未來試著整合其他觀測網之測站，來增加測站密度並改善側向解析力。透過地震定位與震源機制解解算，了解背景地震活動。並藉由環境背景雜訊分析技術，探求淺部地殼速度模型。並進一步綜合判斷雲嘉地區地震活動潛勢，了解各斷層的活動度及建立相關參數，提供後續地動潛勢與災損評估之基礎與參考依據。結合場址參數與地下水分佈、地質構造等特性加入比對，評估可能伴隨的複合式災害，期望能減輕下個地震可能帶來之危害。

Stress change and fault interaction of adjacent dip-slip, creeping faults in Taiwan

Wei Peng¹ · Kate Huihsuan Chen¹

(1) Department of earth sciences, National Taiwan Normal University

Abstract

The two segmented, ~150-km-long, creeping fault systems in Taiwan are characterized by fast deep slip rate (4-5 cm/yr), large damaging earthquakes, repeating earthquakes, and swarm activities. They provide a rare opportunity for studying the nature of fault creep in the dip-slip faults. To understand the characteristics and mechanisms of earthquake interaction between the two adjacent active faults, three major works are conducted: (1) Identifying earthquakes that are responsible for the LVF and CRF activities based on relocated seismicity (2) Identifying earthquake clusters using a statistics-based algorithm (3) Quantifying the interaction between seismicity on two separate faults using the spatiotemporal distribution of earthquake clusters (3) computing the static stress change to verify the stress triggering relationship between the two adjacent faults.

Each of the two adjacent faults can be both divided into three segments. We found that only the southern segments exhibit strong interaction in earthquake clusters. On December 10, 2003, a M6.4 earthquake in the southern LVF likely triggered a M5.3 earthquake in southern CRF that occurred 8 days later, as promoted by 0.8 bar stress change. On April 1, 2006, a M6.2 earthquake in southern CRF on the other hand, is capable of triggering a M6.0 earthquake in the south segment of LVF two weeks later, imported by 0.6 bar stress change. However, the September 22, 2022, M6.4 earthquake in southern CRF triggered the aftershock in the southern LVF one days later, while the stress change shows a negative impact.

Finally, we compared the location of the triggered aftershocks with the inverted interseismic slip, we found that most of the triggered events are coincided with moderate-to-high interseismic slip area, we argue that the nature of fault creep may control the triggering potential in the adjacent fault.

震源時態模擬器於台灣東部及南部地區之應用

葉宥霆、吳泓昱教授

國立成功大學資源工程學系

摘要

台灣因位於環太平洋火山地震帶上，造成斷層及孕震構造運動活躍，使地震的評估與觀測對於地震災害的防治及風險降低至關重要，而了解各地區斷層系統可能發生之錯動情形與其可能造成之地震規模和再現周期，對於區域地震災害風險性評估及其應變對策之建立有準確且直接的幫助。地震模擬器的運用有助於此過程更為精準且有效率地進行，藉由區域內斷層系統之各項地球物理參數及斷層位態，建立一計算機模型進行大規模及長時間尺度之斷層活動模擬。通過分析及統計模擬結果，能有效模擬其區域內可能產生之斷層滑動時間、斷層錯動地點和地震規模程度、各斷層系統相互觸發程度及地震再現周期等。

本研究使用震源時態模擬器(Rate and State earthquake Simulator, RSQSim)，對台灣東部及南部地區進行十萬年週期之長週期區域斷層系統地震模擬，嘗試模擬並建立可觀察此兩區域斷層活動之空間及時間變化情形之立體斷層模型，並模擬此兩區域斷層系統之地震再現性、地震發生位置及深度分布、地震事件滑移量分布及區域內各斷層之相互觸發情形等。據本研究模擬之成果，可發現其地震再現週期模擬成果與中央氣象局地震目錄之紀錄相符，且其亦能有效模擬2018年花蓮米崙斷層地震及2016年美濃地震所觀察之區域內斷層系統相互錯動之現象，故推斷此新型態地震模擬器能有效模擬台灣各地區之斷層錯動狀態。

SALUTE Array in Southern Taiwan: Current Status and Waveforms from Northern Luzon Subduction Zone

Shou-Fen Chang, Tai-Lin Tseng* and SALUTE TEAM

Department of Geosciences, National Taiwan University, Taipei, Taiwan

Abstract

SALUTE (Southern Array for Lithosphere and Uplift of Taiwan Experiment) is the first large-scale array that incorporates both on land and submarine broadband stations for investigations of the lithospheric structure beneath southern Taiwan in three-year periods starting 2021 August. This is a cross-shaped array consisting of two main lines: (1) E-W line from Kaohsiung to Taitung transecting through southern central range; (2) N-S line running either side of Chaochou Fault. Up today we had installed 24 stations and 6 more will be completed this year. Some stations are in real-time transmission. The quality of the array is high enough to detect local events with magnitude down to ML1.5 via Antelope Data Base Tool. Core phases from antipodal distances of Earth are also well-recorded by the array. Our preliminary data show low-frequency precursory signal for several earthquakes from subduction zone earthquakes at depth of 90-200 km beneath northern Luzon arc. Stations near Chaochou fault exhibit much attenuated coda comparing to other stations. Contrasting studies on those events provide unique opportunities to probe the velocity structure of the descending Eurasia plate and properties beneath stations.

Keywords: seismic array, subduction zone, lithospheric structure, guided wave

2023年版P-Alert強震網的網路服務平台

梁文宗¹、李文蕙¹、邱昊德¹、古進上¹、楊民²、謝佳樺²、吳逸民²、嚴漢偉³

(1)中央研究院地球科學研究所、(2)台灣大學地質科學系、(3)中央研究院物理研究所

摘要

P-Alert強地動觀測網配備低價位的微機電強震儀，目標在現地預警的實踐、高密度震度資訊與波形資料的收集，自2013年開始已經正式運作了10年，目前測站總數達771個，主要分布在小學校園以及若干學術機構。為了提供全面的即時資訊與波形資料服務，中研院地球所與台大地質科學系合作，於2014年創建P-Alert資訊平台與波形資料庫，內容提供測站資訊、近即時地表加速度值、地震事件波形，以及與地震相關的地動相關產品等，其中波形資料庫直接採用IRIS的Wilber-3介面，讓使用者透過查詢地震再查詢測站的方式下載需要的資料。不幸由於第一版的P-Alert線上資料庫無法通過資訊安全檢驗而必須中斷服務。

2023年版的P-Alert網路資料服務系統採用前後端框架，所開發的應用程式均經過源碼檢測、弱點掃描與滲透測試，此外網頁伺服器的主機作業系統也採取符合資安要求的版本以強化系統的安全性。新版內容採用台大團隊所開發的API接收近即時的PGA與PGV值，降低系統的計算負載，並且在展示近即時地動資訊時新增可讓使用者自訂的展示選項；而資料庫的介面則改採用完全自行開發的資料索取功能，除了依地震查詢外，另新增按測站來查詢各地震的地動資訊功能，而當選擇特定地震後，更可直接瀏覽該地震的走時波形圖與PGA空間分布及動畫等展示項目。

相較於第一版的線上資料庫，2023年版的P-Alert網路資料服務平台更加友善與豐富，官網位置為<https://palert.earth.sinica.edu.tw>，歡迎使用者隨時指教。

北港三號井「古新世」浮游性有孔蟲之再檢討

簡至暉¹

(1)台灣中油探採研究所

摘要

位於雲林四湖地區的北港三號井，在深度2034–2066公尺間鑽遇化石豐富的地層，前人研究在其中發現不少早白堊世的軟體動物（Matsumoto et al., 1965）與超微化石（Huang, 1978）。另一方面，Huang（1968）則報導於相同層位發現新生代古新世之浮游性有孔蟲指準化石*Eoglobigerina spiralis*、*Subbotina triloculinoides*與*Parasubbotina pseudobulloides*，顯與前述之化石所代表之生物地層相衝突。若古新世浮游性有孔蟲化石確實存在，則相同層位所發現早白堊世之軟體動物及超微化石皆為二次移置化石；然而，Matsumoto et al.（1965）所發現之化石保存狀況良好，Huang（1978）也未發現新代之超微化石，應非二次移置化石。此外，比較Huang（1968）之描述與圖版，本研究認為：(1) *Subbotina*屬的重要特徵之一是殼壁具蜂巢狀組織（cancellate），但Huang（1968）描述之標本表面光滑；(2) *S. triloculinoides*的邊緣應更為葉突狀（lobulate）；(3) *P. pseudobulloides*終圈房室應為5個，且最終房室甚為膨大。因此，Huang（1968）所發現之浮游性有孔蟲是否確為古新世之物種，需進一步釐清。

本研究嘗試從典藏標本、前人文獻之化石描述與圖版、檔案照片及重新洗選之樣本等各種途徑，對北港三號井2036.1–2037.83及2045–2048公尺等二個深度區間所出現之浮游性有孔蟲化石進行再鑑定，以探討其生物地層之歸屬及與其他類群在上述年代上的關係。雖然化石材料數量有限且保存狀況不佳，增加鑑定上的困難與不確定性，本研究重新鑑定之結果，認為Huang（1968）所報導之化石個體應歸類為*Hedbergella*、*Gorbachikella*及/或*Blefuscuiana*等屬，此外亦發現可能屬於*Favusella*之個體。上述之種屬皆存在於早白堊世阿普第期（Aptian），與前人研究之軟體動物及超微化石生物地層結果一致。

以層序對比結果探討台南盆地自古近紀張裂以來之構造演化

蘇清全¹、簡至暉¹、涂嘉勝¹

(1)台灣中油公司探採研究所

本研究依據台南盆地共 14 口井之井測資料，構建三條台南盆地層序對比剖面探討台南盆地自古近紀張裂以來之構造演化，並整合 F-8 井、Y-1、W-1 和 J-1 井之井測與岩屑描述資料判識地層之沉積環境，將沉積環境劃分為以下 8 種沉積環境，分別為斜坡、深海扇、外遠濱、內遠濱、濱面、外部近岸、內部近岸、氾濫平原和河道。根據沉積環境的變化趨勢，將漸新世—上新世地層由老至新劃分為層序組 A、B、C、D 和 E，作為台南盆地區域對比的依據。

台南盆地之地層由老至新依序共劃分為出 17 個層序，其中層序組 A 對應於台南盆地後張裂構造期的早期，最初僅有斷層上盤之局部陷落盆地有地層堆積，隨著張裂作用的持續進行，沉積物逐漸向南北兩側進覆，最終義竹斷層上盤之區域也隨著相對海平面的持續上升而開始有沉積物覆蓋，沉積環境以陸相—近岸環境為主，整體沉積環境仍呈現東北向西南逐漸變深的趨勢。層序組 B 和層序組 C 對應台南盆地構造活動靜止期，熱沉降作用使得沉積空間增加，此時義竹斷層上下盤皆有連續堆積之層序，沉積環境皆有轉深之現象，此時沉積環境由轉變為遠濱—外陸棚環境，沉積環境由近岸逐漸轉深為遠濱—外陸棚環境，但中央隆起帶此時已逐漸變為地形高區，層序頂部普遍出現侵蝕不整合面。層序組 D 為中新世至晚中新世的地層，當時處於海水位下降階段，義竹斷層下盤與中央隆起帶之層序組 D 普遍有缺失的現象，但斷層上盤大部分地區由於構造沉陷提供大量沉積空間，皆可見層序組 D 地層明顯增厚之現象，尤其以鄰近義竹斷層之區域較為明顯，但沉積環境卻無明顯轉深的現象，推論當時北側義竹斷層下盤地層被大量剝蝕，輸送大量沉積物至斷層上盤的沉陷區域內。上新世早期之 NN12-NN14 地層在台南盆地普遍缺失，推論為前陸盆地外緣之前陸隆起 (Forebulge) 所致，形成之不整合面稱為前陸盆地基底面 (BFU)。層序組 E 是上覆於前陸盆地基底面 (BFU) 之上的上新世地層，層序組 E 的層序厚度明顯增加，地層形貌為由東向西厚度逐漸減薄之楔形體，推論是受到前陸造山之坳陷作用影響。

關鍵字：沉積環境、層序地層對比、台南盆地

臺灣造山運動對地層中油母質型態組成的影響—以 楠梓仙河流域中新統至上新統油母質型態組成變化 為例

俞舜文¹、蕭良堅¹、林孟憲¹、徐郁雯¹、紀南光¹、郭昱賢¹

(1)台灣中油公司探採研究所

摘要

臺灣西南部麓山帶楠梓仙河流域出露的地層包含有中新世中期至中新世晚期的被動大陸邊緣沉積地層(由老至年輕為三民頁岩、紅花子層及長枝坑層)，以及前陸盆地的沉積地層(由老至年輕為糖恩山砂岩、鹽水坑頁岩、隘寮腳層及茅埔頁岩)，本研究藉由分析楠梓仙河流域中新統至上新統中油母質型態組成的變化(共28個樣本)，以了解造山運動對於此區域油母質型態組成的影響。結果顯示三民頁岩、紅花子層及長枝坑層中的油母質組成以木本型為主(含量可達60%以上)、非晶型(10%至33%)次之、草本型(2%至11%)再次之；而糖恩山砂岩、鹽水坑頁岩、隘寮腳層及茅埔頁岩則以非晶型的油母質為主(40%至80%)、木本型油母質次之(13%至51%)、煤型油母質再次之(2%至10%)。藉由上述結果可發現到造山運動開始發生後，臺灣西南部地層中的油母質型態組成開始產生明顯的變化，造山運動發生前所堆積的油母質雖以陸源的油母質(如木本型油母質)為主，但其型態多保存完整，而造山運動開始發生後所堆積的油母質多屬於型態遭到破壞的非晶質型，且開始有較多受過強烈氧化作用或成岩作用的煤型油母質出現。造成前述現象的原因可能有兩個，一為在造山運動開始發生後，此區域的沉積環境逐漸轉變成較不利於油母質保存之環境，故具有完整型態的油母質多被破壞成非晶型油母質，而由於煤型油母質性質穩定，不易被破壞，故相對含量就變多；而另一個原因可能為沉積物來源的改變，因而使得油母質的組成產生了變化。綜上所述，臺灣造山運動對楠梓仙溪中新統至上新統油母質型態的組成造成了顯著的影響，而確切的原因則須再配合其他證據進行釐清。

Trace element analysis of planktic foraminifera in the Arctic Ocean: application and limitation

Bor-Jiun Jong^{1*}, Chuan-Chou Shen¹, Li Lo¹, Chih-Kai Chuang¹, Robert Spielhagen², André Bahr³, Iizuka Yoshiyuki⁴ & Ludvig Löwemark¹

(1) Department of Geosciences, National Taiwan University, Taiwan · (2) GEOMAR Helmholtz Centre for Ocean Research, Germany · (3) Institute of Earth Sciences, Heidelberg University, Germany · (4) Institute of Earth Sciences, Academia Sinica, Taiwan

Abstract

The Arctic Ocean plays an indispensable role in the global ocean and climate systems. Our understanding of paleoceanographic records from the Arctic Ocean is crucial for the ability to perform climate simulation and, thus, climate prediction. This study addressed widely-used proxy records, trace element analysis of planktic foraminifera, in the Arctic Ocean to better understand the proxy systems and improve climate reconstruction. 17 core-top samples and 6 downcore records constrain the spatial variations on the Eurasian side of the Arctic Ocean, and were used to reconstruct records back to Marine Isotopic Stage (MIS) 3. Here, we present two of the most common trace element ratios of planktic foraminifera: the Mg/Ca and Ba/Ca ratios. Mg/Ca records, often used as a paleo-thermometry, have shown severe diagenetic influence in the multiple cores in the Arctic Ocean. The secondary calcite crystals containing high-magnesium are clearly identified under scanning electron microscope and energy dispersive spectroscopy, making Mg/Ca-based thermometry impossible in affected core records. Meanwhile, the Ba/Ca records from the core-top materials are comparable to modern seawater Ba records, proving the feasibility of foraminiferal Ba/Ca ratios as recorders of seawater Ba in the Arctic Ocean. Previous studies suggested that the Ba/Ca ratios is a potential river input indicator. Yet, our results indicated that Ba/Ca is also affected by other non-river processes, including Atlantic water inflow, biological removal, and remineralization. The Ba/Ca records since MIS 3 in the central Arctic Ocean seem to have been controlled by the sources and sinks of seawater, rather than riverine input.

Keywords: Paleoceanography, Arctic Ocean, river input, diagenesis, planktic foraminifera, trace elements, Mg/Ca ratios, Ba/Ca ratios

Mid-Holocene paleoenvironment of northern Taiwan indicated by stable oxygen and carbon isotope compositions and Sr/Ca ratios of coral skeleton from Lishan Cape, New Taipei City

Le Thu Minh¹, Shih-Wei Wang², Horng-Sheng Mii¹

(1) Department of Earth Sciences, National Taiwan Normal University

(2) National Museum of Natural Science

Abstract

Four discontinuous segments of a coral core collected from Lishan Cape, New Taipei City, namely LSC, were studied for reconstructing the paleoenvironment of Northern Taiwan. The labels and depth for four segments are as follows: Segment A (0-0.19m), segment B (0.277-0.5m), segment C (0.8-0.99m) and segment D (2.325-2.59m), sorted from the youngest to the oldest, respectively. The genus of two segments A and B is *Porites*, while that of C and D is *Cyphastrea*. U-Th and AMS ¹⁴C dating results showed that the age range of these 4 coral segments is between 4.1 and 5.2ka BP, which coincided well with the period of the 4.2ka event. The 4.2ka climatic event that occurred during the mid-Holocene was characterized by intense cooling and aridity climate across the mid-low latitudes in the Northern Hemisphere. The Raman spectrometry results indicated that the samples are not altered by diagenesis since there is an absence of secondary carbonate. The stable oxygen isotope composition of segments A, B and D appropriately fluctuated from -5.3‰ to -3.0‰, -5.4‰ to -2.5‰ and -5.4‰ to -2.1‰, respectively. $\delta^{18}\text{O}$ values of segment C varied at a greater level, from -3.0‰ to -1.8‰, indicating cooler temperature and/or greater $\delta^{18}\text{O}$ value of seawater. However, Sr/Ca results of segment C ranged from 10.9 mmol/mol to 12.2 mmol/mol, just slightly greater than those of the shift between 9.7 mmol/mol and 12.0 mmol/mol of segments A and B. The stable carbon isotope composition of segment C also significantly enhanced, from 0.5‰ to 3.5‰, while those of segments A, B and D generally extended from -2.5‰ to 1.3‰. Upwelling on the northern shelf of Taiwan appears to annually occur in winter; thus, besides solar irradiance levels, greater $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{18}\text{O}$ values might indicate more intense upwelling near Lishan Cape around 4.2ka BP.

Keywords: paleoclimate, coral, stable oxygen isotopes, stable carbon isotopes, trace elements Sr/Ca ratio, northern Taiwan.

The Surface Ruptures of the 2022 Chihshang Earthquake on the Riverbed of Hsiukuluan River, Eastern Taiwan

Jin-wei Hsu¹, Yen-Chiu Liu¹, Ying-Hsuan Chen¹

(1) Central Geology Survey, MOEA

Abstract

The 2022 Chihshang Earthquake ($M_L=6.8$) which also named as 0918 Earthquake occurred in the eastern Taiwan. The violent quake of this significant earthquake induced buildings and constructions damage. The activity of Yuli Fault and Chihshang Fault induced surface ruptures along the 2 faults, included the ruptures appeared on the riverbed of Hsiukuluan River between Yuli Bridge and Antong along Chihshang Fault. Furthermore, the continuous lateral slip cracks extended from Guanyin to the Yuli Bridge with strike of about $N20^\circ E$ and unapparent vertical displacements were observed in the valley of Hsiukuluan River. These ruptures displayed parallel cracks, little scale grabens or en-echelon patterns located on the riverbed of Hsiukuluan River. The northern end of these ruptures joined the Chihshang Fault near Guanyin, and the south of ruptures was cut off by a strike-slip fault south of Yuli Bridge. The ruptures spread in the area with the width of 100~500 meters. The widest spread of the ruptures located between Chunkan and Dayu, Yuli Township. There are 4 series of parallel ruptures extended about 1 kilometer were observed on the riverbed in this area.

The Hsiukuluan River in Yuli Township located in the central area of Taitung Longitudinal Valley where between Yuli Fault and Chihshang Fault. That means the ruptures mentioned above were far away from the well known active faults, which hinted the unknown active structure in the Taitung Longitudinal Valley. However, the ruptures on the riverbed are erased easily and quickly, which can be observed and recorded in just about 4 weeks only. The ruptures in the Hsiukuluan River reported in this study will renew the observation of the survey vacancy between Yuli Fault and Chihshang Fault. The distribution and the pattern of these ruptures may indicate the structures of suture zone in the Taitung Longitudinal Valley of the eastern Taiwan, which should be research by other depths survey methods further.

Keywords: 2022 Chihshang Earthquake, Yuli Fault, Chihshang Fault, surface rupture, Eastern Taiwan

The Application of Cadastral Maps on the Survey of the Surface Ruptures of the 2022 Chihshang Earthquake in the Songpu Area, Yuli Township

Jin-wei Hsu¹, Wen-Hsin Cheng¹, Yen-Chiu Liu¹, Chih-Yuan Huang¹

(1) Central Geology Survey, MOEA

Abstract

The 2022 M_L 6.8 Chihshang Earthquake (0918 Earthquake) occurred in eastern Taiwan and induced the surface ruptures along Yuli Fault and Chihshang Fault. The coseismic displacement not only appeared along Yuli Fault which displayed apparent left-lateral slip movement, but also showed as compressed ruptures along Chihshang Fault. Besides these 2 faults, another obvious coseismic displacement of the 0918 Earthquake located in the Songpu area, Yuli Township. The surface ruptures in Songpu with about 1 meter uplift coseismic displacement passed through the alluvial fan of Leufan Stream and extend about 2 kilometers near Tailin and Songpu. The characteristics of uplift in the western side of rupture traces are disagreement with the movement of Chihshang Fault, and thus become a popular research topic.

In order to describe the trace of surface ruptures, the method that delineate the rupture locations or measure the rupture movements rapidly are necessary. Even though there are convenient tools such as drones, smartphone, or GPS positioner which applied in the work of survey recently, the traditional cadastral maps are still useful. The boundary of cropland and private buildings were recorded in the cadastre maps. In the Longitudinal Valley of eastern Taiwan, the ridges between rice fields can be one of easily recognizable reference points. We try to take the cadastral maps of Songpu area and compared the boundaries of the croplands in the field and the recorded in the cadastres. The location of rupture traces truly can be well defined by compared the intersections of the banks in the rice fields and on the cadastre map. The rupture traces demarcated on the cadastre maps reveal the usability because the results are consistent with the measurement of GPS tools. In fact, the traditional cadastre maps provide useful and definite space information which can be applied on the field work of the surface ruptures survey.

Keywords: 2022 Chihshang Earthquake, cadastral map, surface rupture, Eastern Taiwan

Active Fault Investigation in Taiwan

Liang, Shen-Hsiung, Yen-Hui Lin, Yen-Chiu Liu, Pin-Shan Chou, Li-Ren Fan, Yin-Hsuan Chen

Central Geological Survey, Ministry of Economic Affairs

ABSTRACT

Locating in an ongoing orogenic belt, there are frequent seismic activities and many active faults in Taiwan. Large earthquakes are usually accompanied with the recurrent movement of active faults, which may cause surface fractures and severe hazards. Before 1990s, there were only sporadic studies about active faults with small scale map in Taiwan by scholars. After the Kobe Earthquake happened in 1995 in Japan, some researchers were aware that the study on active fault was a critical issue also in Taiwan and called to speed up the relative studies.

Central Geological Survey (CGS) proposed the first program in 1997 and started the systematic investigations of active faults. The 1999 Chi-Chi earthquake is a key event and also a turning point in earthquake geology studies in Taiwan. In the past 20 years, CGS has produced much active fault information that is valuable to scientific research, construction and land use. Our current works focus on delineation of active fault geologically sensitive area. Besides, CGS is making more effort on occurrence probability of active faults and other faults with less evidence. We hope that in the near future, the risk of fault activities and disastrous earthquakes can be reliably assessed and managed to reduce the threats and losses. The 36 active faults with surface length longer than 5 km are identified and shown in the 2021 edition which includes 3 new active faults. The 3 new active faults are Chuhsiang Fault, Kouhsiaoli Fault, Chekualin Fault, which are located in Nantou County, Tainan City and Kaohsiung City respectively.

Key word: Active Fault Investigation, active fault geologically sensitive area, Chuhsiang Fault, Kouhsiaoli Fault, Chekualin Fault

Active Faults Monitoring in Taiwan

Chen, Chien-Liang¹, Jiun-Her Liang¹, Kuo-En Ching², Wu-Long Chang³, Ray-Y. Chuang⁴,
Shen-Hsiung Liang¹, Yin-Hsuan Chen¹, Chih-Yuan Huang¹, Chih-Jen Cheng¹, Yi-Chiao
Pan¹, Yang-Min Lin¹, Yi-Fang Wang¹, Chung-Hsun Lee¹

¹Central Geological Survey, Ministry of Economic Affairs

²Department of Geomatics, National Cheng Kung University

³Department of Earth Sciences, National Central University

⁴Department of Geography, National Taiwan University

ABSTRACT

In order to understand the crustal deformation pattern, analyze anomalies for earthquake precursor and realize the activities of active faults, the Central Geological Survey, MOEA has established an island-wide active fault observation network of GNSS, precise leveling in Taiwan.

The daily solutions from 81 continuous GNSS stations, 830 campaign-mode GNSS stations, and 42 leveling routes (967 km) were calculated for the following time series analysis to get the velocity field of southern Taiwan with respect to station S01R. Furthermore, the GNSS and precise leveling data were used to make velocity profiles across 36 active faults in Taiwan.

We analyzed geodetic data to generate the surface deformation level map, displayed by other posters. The acquired data were provided to assess fault parameters, and calculated recurrence intervals. Only if we continue implementing the survey project, we can turn the long-term geodetic data into useful information for disaster prevention and reduction.

Key word: precise leveling, continuous operation of GNSS, campaign- GNSS, active faults, crustal deformation

2022 年關山地震與池上地震地質調查

劉彥求、林燕慧、梁勝雄、周稟珊、陳盈璇、李忠勳、陳建良、王怡方

經濟部中央地質調查所

摘要

民國 111 年 9 月 17 日晚上 9 點 41 分，在臺東關山發生芮氏規模 6.4 的地震，震源深度 7.3 公里，隔天 9 月 18 日下午 2 點 44 分在臺東縣池上發生芮氏規模 6.8 的地震，震源深度 7 公里。一般將 917 關山地震視為前震，918 池上地震為主震，這兩個地震是歐亞板塊與菲律賓海板塊擠壓所引起的。

地質調查重點在地表破裂分布範圍與活動斷層的相關性，並評估陸上活動斷層是否為此次地震的發震構造，大地測量的目的在了解地表變動的範圍與程度。調查範圍涵蓋花蓮縣瑞穗鄉、玉里鎮、富里鄉、臺東縣池上鄉、關山鎮與鹿野鄉等破壞較密集分布的區域。由前震、主震及餘震分布的斷層面解等資料，研判 917 關山地震、918 池上地震的發震構造與歐亞板塊、菲律賓海板塊擠壓有關，是由一個呈北北東走向且向西高角度傾斜的左移斷層活動所致。

調查結果顯示：玉里斷層與池上斷層沿線均有地表破裂與噴沙現象。玉里斷層方面，玉里鎮至源城溪之間有集中且連續的地表破裂分布，呈左移運動且西側抬升；玉里鎮以北至大禹里，地表破裂零星分布，並逐漸尖滅；客城至長富大橋之間，地表破裂分為數條，範圍寬約數百公尺至 1 公里。整體而言，玉里斷層為左移運動兼具向東逆衝性質，地表破裂位置與 1951 年的地表破裂幾乎一致，但此次更增加長良地區的地表破裂，其左移量最大達 1 公尺，西側抬升 30-100 公分。

由於本次的地震之震源機制、震源深度及主、餘震分布與玉里斷層性質一致，因此研判 918 池上地震的發震斷層往北延伸，出露地表的部分為玉里斷層，其餘則可能位於秀姑巒溪而不易發現。

關鍵字：關山地震、池上地震、地質調查、地表破裂

2022 年光復地震同震變形與地質調查

梁勝雄¹、劉彥求¹、陳建良¹、陳盈璇¹、梁均合¹、黃志遠¹、林燕慧¹、景國恩²、張午龍³、鄭智仁¹、潘乙喬¹、林揚閔¹、王怡方¹、李忠勳¹

1. 經濟部中央地質調查所
2. 國立成功大學測量及空間資訊學系
3. 國立中央大學地球科學學系

摘要

2022 年 6 月 20 日上午 9 時 5 分，臺灣東部發生芮氏規模 6.0 之地震（第 059 號），震央在花東縱谷北段光復地區，震源深度僅 6.8 公里，隨後發生多次餘震，如第 060 號地震，其芮氏規模 5.0，震源位置相近，深約 6.5 公里。

於地震發生後，立即前往地震區域進行地震地表破裂調查，初步調查成果顯示地震大多沿著斷層既有破裂產生，震央附近河床沙洲能見約 10 公分左右之抬升破裂與位移現象，並具液化噴砂現象。野外地質調查顯示地表破裂與噴砂區域最北能追跡至花蓮大橋，最南至太巴壠附近；光豐公路繼 0323 長濱地震後再次發生下邊坡滑動，瑞港公路在 2K+0 至 22K+500 等處發生落石與山崩。

以全臺全球導航系統（GNSS）連續站、GNSS 移動站，以及精密水準測量等大地測量觀測方式觀測 0620 光復地震地表變形，並解算與分析同震位移場。GNSS 連續站觀測結果指出，最大同震位移位於震央北邊的東富站（DNFU），抬升量為 134.59 公釐（mm），同震位移水平分量向東與向北分別為 37.32 mm 與 5.32 mm；GNSS 移動站最大同震位為第二公墓站（G999），抬升量為 153.2 mm，同震位移水平分量向東與向南分別為 14.2 mm 與 76.6 mm；水準測量部分最大同震抬升處為觀世音佛寺站（A101），抬升 251.0 mm。

整體而言，建議應加強地震地質調查工作與活動斷層觀測網的觀測與分析能力，期望能適時提出相關資訊作為防災與應變之參據，減少地震發生可能帶來的損失與傷害。

關鍵字：光復地震、地震地表破裂調查、精密水準測量、GNSS 移動站、同震位移。

以多型伊萊石及伊萊石結晶度值探討武界地區褶皺 特徵之研究

Application illite polytype and illite crystallinity on the characteristics of fold of Wuji

*李沛蓁¹、劉佳玫²

¹中國文化大學地質學系 大學部

²中國文化大學地質學系 助理教授

摘 要

南投武界地區於濁水溪沿線岩性特徵以變質砂岩和粉砂質板岩為主，僅少數地區出現泥質板岩。由變質砂岩和粉砂質板岩組成的岩性除了具劈理現象之外，另一種常見的地質構造為褶皺，本研究發現從武界壩沿著濁水溪往南至雙流瀑布常見尺度為公尺級的褶皺構造。在過去前人研究資料顯示，於低度變質岩區可藉由伊萊石結晶度值來探討區域變質程度，但是，褶皺構造可能會影響伊萊石結晶度值，因此，本研究選擇武界地區不同的岩性及褶皺與非褶皺區作為研究題材，以伊萊石結晶度值和多型伊萊石為研究方法，試圖探討武界地區褶皺的特徵。

本研究目前成果顯示，就伊萊石結晶度值而言，從武界壩至雙流瀑布由北往南其伊萊石結晶度值越趨於分散，且越往南，其數值越大，代表位於武界地區南邊的岩石變質程度較北邊為低。武界壩一帶的伊萊石結晶度值為0.171-0.364；雙流瀑布一帶之伊萊石結晶度值為0.219-0.401。就伊萊石結晶度值與岩性、構造關係結果顯示，不論是粉砂質板岩或變質砂岩，只要位處於單一波長為公尺級的褶皺，其伊萊石結晶度值必定小於0.3，由此推斷，岩石在受到變質及褶皺作用的情況之下，褶皺作用影響伊萊石結晶度值大於其他兩種作用。而且，從多型伊萊石特徵峰值的強度也觀察到一致的結果，即褶皺區的多型伊萊石特徵峰強度高於非褶皺區。

關鍵字：多型伊萊石、伊萊石結晶度值、褶皺、武界
Keywords: illite polytype, illite crystallinity, fold, Wuji

Tectonic deformation of northeastern Taiwan revealed by geomorphic indices

Chin-Yi Yang, Ting-Wei Huang, Chung-Pai Chang, Pei-Shan Hsieh

ABSTRACT

In northeast Taiwan, many areas are affected by various tectonic forcings. Some areas appear to have a subsidence tendency, whereas others reflect uplift activities on the surface, due to tectonic northward compressive forcing growth and decline. Owing to the presence of widespread mountain areas, limited geodetic surveys in the field have made data scarce in this area in the past decades. In addition, most upstream streams in northeastern Taiwan originate from the Backbone Range and flow immediately into the ocean. Because of the steep topography, field investigations on land have been restricted, and *in situ* surveys are usually limited usually by obstruction. Therefore, the long-term landscape evolution of drainage basins can record topographic changes through the river channels. The distribution of the geomorphic indices, which were calculated along the river channels, were used to analyze the activities on a regional scale. In this study, the results of the geomorphic indices were based on the calculation of published digital elevation models by utilizing the function library TopoToolBox2. The geomorphic indices, which include knickpoints and the normalized steepness index (K_{sn}), can indicate the unequilibrium state of the river system and can be used as topographic indicators. The magnitude of knickpoints represents the degree of abrupt changes in the river longitudinal profile, and the K_{snq} value variation can be used as quantitative index of river topography. The geomorphic indices synthetically suggest that the landscape evolution of the studied drainage basins is influenced by geological structures, tectonic activity, various lithologies and potential surface ruptures.

Key words: geomorphic indices, tectonic activity, northeastern Taiwan

台灣東北部鼻頭及龍洞地區的正斷層

賴品文¹、黃文正^{1,2}、張中威¹、徐育誠¹

(1) 國立中央大學 應用地質研究所、(2) 國立中央大學 地球科學系

摘要

台灣東北部為雪山山脈與西部麓山帶地質過渡帶，由數條東北西南走向的區域性斷層及褶皺縱貫於其中，延伸至外海的古造山帶已進入造山運動後的垮山機制，從壓縮環境轉變為伸張環境，發育一系列的正斷層。前人研究指出外海正斷層似乎能與陸域斷層相對應，但探討陸域正斷層的研究相對較少。鼻頭及龍洞地區出露一系列由正斷層所組成的地塹及地壘，這些正斷層的成因及其與海外正斷層的關聯性為此研究感興趣的課題。

斷層的形成常伴隨著難察覺位移量的裂隙，也常與既存裂隙有關，因此裂隙調查為斷層演育研究的必要工作。本研究透過無人飛行載具建立三維模型，藉由高地面解析度(GSD)正射及立面影像，判釋裂隙分佈情形，結合野外地質調查，瞭解鼻頭及龍洞地區裂隙關係及特徵。調查結果顯示，鼻頭及龍洞地區均可觀察到數十條能追跡近百餘公尺的正斷層及走向滑移斷層，鼻頭地區有兩組約略正交的區域裂隙(BF2、BF4)，另兩組局部裂隙(BF1、BF3)密集發育於近鼻頭向斜軸部位置，多數斷層走向約為N16°W，大致與裂隙組BF4平行，錯距(separation)介在數公分至三公尺之間，龍洞地區有三組主要區域裂隙(LF1、LF3、LF4)，全區皆可觀察到LF4，LF3及LF1分別集中分佈於龍洞北區及南區，另有三組裂隙(LF2、LF5、LF6)零散分佈於此研究區，多數斷層走向約為N70°W，大致與裂隙組LF4平行，數條斷層的錯距大於三公尺。

初步的分析結果顯示，鼻頭及龍洞地區斷層走向分別以N16°W及N70°W為主，外海的正斷層為東北西南向，此三區域的正斷層之位態互不匹配。龍洞地區的正斷層走向與萊萊及外澳地區的鹼性玄武岩脈長軸方向相似，這些岩脈紀錄了中新世地殼的相對拉張方向，推測龍洞地區正斷層的成因可能與此次拉張事件有關。鼻頭地區正斷層走向大致垂直於岬角延伸方向，推測此區正斷層的成因可能為沿岸的側向解壓作用所致。

利用三維數值地形模型精進西部麓山帶及雪山山脈地質區交界處之構造幾何：以桃園石門水庫以南地區為例

魏婉庭¹、詹瑜璋²

(1) 國立臺灣大學地質科學系、(2) 中央研究院地球科學研究所

摘要

桃園石門水庫以南地區位於西部麓山帶及雪山山脈地質區之交界處，主要以西北側出露之西部麓山帶地層為主，並由尖石山向斜、內灣斷層、枕頭山斷層等構成覆瓦狀褶皺逆衝帶系統；東南側則出露少部分輕度變質的雪山山脈地層。但岩性與構造特性都有顯著差異的兩者之間關係卻有許多細節尚不明確。前人曾就大豹溪至石門水庫一帶的野外調查，根據構造型態推論此區的構造演化史，然而野外所能及之處受限於陡峭山勢等自然因素，因此本研究期待利用空載光達所取得的大範圍數值高程模型輔助，在三維且可任意角度旋轉之GIS軟體環境中判釋地質構造，補足缺乏野外調查地區的地質資訊，以精進對此地區構造關係與演化的了解。

本研究使用20m數值高程模型作為立體骨架，套疊1m坡度圖及多向陰影圖，沿不同岩性間差異侵蝕所造成之地形線型特徵繪製岩層線，並利用程式工具計算位態；斷層與褶皺軸等構造亦藉由岩層線的不連續處或位態的轉變界定位置與繪製，得到更高精度之地質圖。另外也利用數量更多且分布普遍的位態資料進行褶皺（如：尖石山向斜）的幾何分析。所得結論如以下三點：（一）由光達數值地形資料可辨識出前人所區分之西部麓山帶與雪山山脈不同地質區，且在繪製地質圖時，兩者的方法有細節上的不同。（二）尖石山向斜軸部有增厚情形，並以許多小斷層方式協調；而向斜兩翼另有不等厚的情形。（三）本研究更精確標示出此區域褶皺逆衝帶中的褶皺與斷層對之位置與形態，以及原本被涵蓋於地層單位內的小斷層。日後或有助於更大區域的褶皺逆衝帶構造解釋，及對於工程上的應用提供更高精度的細節資訊。

利用三維數值地形動態解析中央山脈多期葉理：以 南橫公路利稻至向陽區域為例

陳允平¹、詹瑜璋²、王昱¹

(1)國立臺灣大學地質科學系、(2)中央研究院地球科學研究所

摘要

臺灣中央山脈地區由於地形崎嶇且植被茂密，野外調查工作不易進行，多數地質資訊皆零星分佈在公路與河川沿線，整體地質構造的全面性解釋便因此受到限制。前人研究利用高精度數值地形模型精進現有的地質圖幅，在沉積岩與火成岩區域獲得良好成果，唯目前尚未有中央山脈變質岩區的相關應用。因此，本研究嘗試在三維環境中動態分析數值地形，描繪南部橫貫公路利稻至向陽區域的多期葉理，獲得廣域葉理分佈，並討論以數值地形於中央山脈區域解析多期葉理的可行性和後續地質意義。本研究將1公尺多向陰影圖於ArcGIS Pro中套疊在20公尺數值高程模型上，以多視角瀏覽判釋具有均透性的地表線型，並輔以前人文獻，辨識與描繪葉理面，最後利用位態計算工具求出其走向與傾角。成果顯示，在向陽至利稻一帶，至少可以辨識出三期均透性面狀構造：S1為本研究區域中分佈最廣且最具均透性之葉理面，普遍往東至東南傾斜，傾角約30~50°；S2僅於東部區域可辨識，為南北走向之高傾角葉理面，均透性佳。另有一期往東南傾斜之面狀構造，分佈範圍與S1重疊但較零星且傾角較大，是否代表層理(S0)有待未來更多證據釐清。本研究獲得以下結論：(1)利用數值地形可解析S1與S2並描繪其分佈，提供巨觀構造視野，中央山脈的全面性構造解釋可望獲得進展。(2)本研究解析中央山脈扇狀葉理的西半部，顯示葉理扇可能是由多期葉理所致。(3)S2範圍的西界在數值地形中偏東，顯示葉理的發育必須至特定程度才會在地形中顯現均透性的線型。本研究為中央山脈變質岩區的構造幾何提供全面的新視野，未來可望將研究範圍擴展至大南澳片岩帶，完整解釋南部橫貫公路東段沿線之扇狀葉理分佈與其在造山運動中所扮演的構造意義。

Plio-Pleistocene sedimentary record of the exhumation of the Hsuehshan Range: Insights from detrital zircon U-Pb dating of foreland basin sediments.

Mayur Shinde¹, Yuan-Hsi Lee¹, Wan Lien Tsai¹, Wei-Chung Hsu¹, Yun-Li Tsai¹, Yi-Ju Wu¹, Lucas Mesalles¹, Karl D. Jabagat¹

(1) Department of Earth and Environmental Sciences, National Chung Cheng University, Taiwan

It is established that the Taiwan mountain belt has undergone a major tectonic episode in the Plio-Pleistocene resulting in the present-day geological configuration of the Hsuehshan and Central Ranges. The Plio-Pleistocene clastic sedimentary sequences of the western foreland were deposited during this major phase of topographic build-up and provide a continuous record of the exhumation of adjacent mountains. In this study, we aim to constrain the timing of surface exposure and erosion of the major geologic units of the Hsuehshan Range through the study of its erosive products. We applied detrital zircon U/Pb dating to 11 samples in three stratigraphic sections of the Central foreland, including the Chinshui, Cholan, and Toukoshan Formations (bottom to top). Most of the samples show that the age population of younger sediments, across all formations, ranges from Miocene to Eocene (12.60-42.07 Ma), while the maximum population extends from Cretaceous to Jurassic (118.84-198.47 Ma), with varying percentages of grains having Neoproterozoic to Paleoproterozoic ages (700-2800 Ma).

Based on these new results, the waning stage of the Hsuehshan range exhumation is imprinted on the Plio-Pleistocene sedimentary record and is characterized by the gradual decrease up to the total disappearance of Paleoproterozoic and Neoproterozoic peaks. The most pronounced shift in sediment source is observed between the Late-Pliocene-Early Pleistocene Cholan Formation and the Early-Late Pleistocene Toukoshan Formation. The drastic disappearance of Proterozoic peaks on the Toukoshan Formation is accompanied by a pronouncement in the Jurassic age peaks supporting a change in the sediment source during the terminal stage of exhumation in the Late Pleistocene.

Keywords: U-Pb dating, Toukoshan Formation, Cholan Formation, Chinshui Shale.

(1) University/Advisor: National Chung Cheng University

(2) Degree/Grade: Ph.D

(3) E-mail/Cell phone number: mayurshinde0186@alum.ccu.edu.tw

臺灣脊樑山脈南部橫貫公路之磁性組構研究與隱示

許寧珊¹、葉恩肇¹、曾雅筑¹、傅慶州²

國立臺灣師範大學地球科學研究所¹、中央研究院地球科學研究所²

摘要

臺灣位於歐亞板塊及菲律賓海板塊相互隱沒的交界帶，如此特殊的地體構造使臺灣擁有複雜的地質演化史。其中，脊樑山脈經歷多次且長時間的變動，但其變形歷史尚未釐清，由於磁性組構及磁感率異向性的方法已可應用於造山帶應變史之研究，因此本研究將藉由磁性組構及磁感率異向性解析橫跨脊樑山脈南段的應變特徵，進而了解脊樑山脈的變形歷史。

本研究區域位於臺灣南部橫貫公路的東段，由埤口向東延伸至初來，橫跨畢祿山層、太魯閣帶、玉里帶、初來層四個地質區，野外工作主要沿線觀察記錄露頭構造位態並採集定向岩石樣本。室內將定向樣本製備成每邊長 2.2 公分的正立方體，利用非均向磁感率測磁儀測得樣本的三軸磁感率方向與數值，且將測量所得的磁感率橢球體視作應變橢球使用，建立脊樑山脈南段的東西向應變剖面，並配合溫度-磁感率及磁滯曲線實驗加以確認磁性礦物種類。

磁感率橢球體的初步成果以下半球投影圖可觀察到磁性組構與岩石組構的葉理與線理之間相互吻合，由西到東磁性線理由指向東南轉為東北-西南方向，岩石葉理由向東傾轉為向西傾，且磁性線理的轉變早於岩石葉理的轉變。磁性參數與距離關係圖指出，整個南橫東段由西到東平均磁感率和異向性都只有在岩性交界和地層交界附近有較高的數值，太魯閣帶中由西向東有異向性升高且伴隨形狀參數由平板狀轉為橢球狀的分佈，其餘地質區的磁性參數分佈較均一。形狀參數與校正異向性和磁性線理強度與磁性葉理強度的關係圖顯示，四個地質區皆是分佈在橢球狀到平板狀的區域，無法觀察出明顯的變形路徑。

後續將透過磁性礦物的辨認，以更準確地了解南橫沿線磁感率特性分佈是否

為造山變形的產物，並配合與前人野外構造資料的比對，預期能解析臺灣造山帶所經歷的變形歷史，以提供更多資訊探究臺灣脊樑山脈應變史。

關鍵字：脊樑山脈、南部橫貫公路、磁性組構、磁感率異向性、應變橢球、變形歷史

台灣全陽電廠全陽地熱電廠之地球化學研析

Geochemical experiments associated with the Chunyang Geothermal Power Plant, Taiwan.

全陽金崙電廠為全台首例使用潛水電泵(ESP, Electrical submersible pump)發電的地熱電廠，工研院從2019-2023年持續為全陽公司提供產能測試、水質檢驗以及協助架設ESP等工作，全陽生產井因ESP能夠穩定提供約 $9\text{kg}/\text{cm}^2$ 、 140°C 、100TPH的條件發電。本研究研析全陽1號井-自湧、全陽2號井-注氣、全陽2號井-ESP生產以及鄰近溫泉井的特性，比較地熱井裝設ESP前後之地球化學特徵變化，包含水質、氣體組成、結垢趨勢等。初步結果顯示，安裝ESP不影響水質類型；結垢風險因ESP持壓而降低；不凝結氣體組成受壓力影響而產生變化。ESP的優點有控壓增產以及降低結垢風險，其適合安裝於碳酸氫泉質與變質岩裂隙型地熱的台灣。

關鍵字：潛水電泵、地熱井、地球化學

Key Words : Electrical submersible pump, Geothermal well, Geochemistry.

Geochemical characterization of sedimentary pore fluids from submarine sediment-hosted hydrothermal system in southern Okinawa Trough: Effects of phase separation on trace elements distribution

Shein-Fu Wu¹、Chih-Chieh Su¹、Feng-Hsin Hsu¹、Hsiao-Fen Lee²、
Ta-Wei Hsu¹、Song-Chuen Chen³、Yun-Shuen Wang³

(1) Institute of Oceanography, National Taiwan University、

(2) National Center for Research on Earthquake Engineering, National Applied Research Laboratories、

(3) Central Geological Survey, Ministry of Economic Affairs

Abstract

Geochemical analysis of trace elements (include Fe, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, and REE+Y) and was performed on sedimentary pore fluids collected from the Mienhua Volcano (MHV) hydrothermal field in the southern Okinawa Trough, where is a highly sediment-hosted hydrothermal system and strong hydrothermal activities have been discovered. For comparison, those analyzes were also conducted on pore fluids from the Keelung Submarine Volcano (KLSV) and Keelungyu (KLY) regions, a shallow-water hydrothermal field offshore northern Taiwan. In the MHV field, depth profiles of the trace elements and total REE concentrations in pore fluids, which are characterized with consumed Mg and seawater-like Cl as liquid phase produced from phase separation, present a distinct enrichment of trace element and total REE concentrations at the bottom water-sediment interface, accompanied with a rapidly downward depletion. Chondrite-normalized REE pattern of MHV pore fluids show a common pattern of LREE enrichment and positive Eu anomaly, which differ from patterns in seawater and other sites, implying the impact of hydrothermal activity. The KLSV fluids show low-Cl and significant consumption of Mg, as well as rather low total REE compared to MHV fluids, referring to as the vapor-rich phase fluid after phase separation. High Mn/Cl, Ni/Cl, Cu/Cl, and Y/Cl of low-Cl fluids comparable to seawater were observed in KLSV fluids, providing consistent results to emphasize the effect of phase separation on trace element distributions in hydrothermal fluids.

Keyword: southern Okinawa Trough; hydrothermal fluid; pore fluid; trace element; REEs

冷泉碳酸鹽岩有機物提取與生物指標化合物分析

Organic Extract and Biomarker Analysis

of Carbonate from Cold Seep

徐敬閔¹、葉世國¹、林詩佳¹、莫慧偵¹

(1)台灣中油公司探採研究所

摘 要

冷泉碳酸鹽岩是研究甲烷氣在海洋沉積中的重要環節之一，因其碳源主要來自海底厭氧環境下的甲烷，經過厭氧甲烷氧化作用 (Anaerobic Oxidation of Methane) 後形成。厭氧甲烷氧化作用會產生特定類型的直鏈型異戊二烯烷烴類生物指標化合物，例如 Crocetane、PMI 及 Squalane 三種直鏈型異戊二烯烷烴類有機分子，配合其他類型之生物指標化合物可以解析其氧化還原環境與成熟度等相關地球化學特性。

由於冷泉碳酸鹽岩普遍有機物含量不高，一般總有機碳含量不會超過 0.3%，直接使用索氏萃取方式處理萃取物無法獲得良好的氣相層析質譜分析結果，因此在實驗流程中增加皂化反應、液-液萃取與管柱分離三種前處理方式，能有效提取並濃縮萃取物中碳氫化合物組成分。一般自然界有機萃取物中通常含有高比例酯類化合物，萃取物濃縮後會析出並且碳氫化合物容易吸附在其表面，因此使用皂化方式將酯類化合物分解成醇類與有機酸，加上碳氫化合物時溶液中共含有三類不同族群組成分，接著透過液-液萃取自溶液中將碳氫化合物與醇類自水相轉移至有機相，最後使用管柱分離方式碳氫化合物部分提取出來濃縮後即可進行氣相層析質譜分析，分析結果正烷烴類分布曲線為雙峰類型，反映為混合型有機物來源輸入，Pr/Ph 比值多數樣品皆小於 1，且都存在厭氧甲烷氧化作用產生的 Crocetane、PMI 及 Squalane 化合物顯示大多處於還原環境，五環類三萜烷 Ts/(Ts+Tm) 比值皆小於 0.5 屬於成熟度較低的樣品。透過於實驗方法中增加前處理步驟，能有效將有機碳含量偏低的樣品中碳氫化合物部分濃縮，在氣相層析質譜中獲得良好的生物指標分析結果。

臺灣西南部麓山帶冷泉碳酸鹽岩之無機元素組成研究

Inorganic Element Composition Study of Cold Seep Carbonate Rock in the Southwestern Foothills Zone

葉世國¹、徐敬閔¹、林詩佳¹、莫慧偵¹

(1)台灣中油公司探採研究所

摘要

當前的海洋甲烷氣研究中，冷泉碳酸鹽岩扮演著重要的角色。此種碳酸鹽岩的碳源主要來自於海底厭氧環境下的甲烷，通過厭氧甲烷氧化作用(Anaerobic Oxidation of Methane)被古菌和硫酸還原菌氧化成二氧化碳，最終沉積為碳酸鹽岩。在這個過程中，通常還會伴隨著海水硫酸鹽的還原反應。本研究針對採集自台灣西南部麓山帶露頭的冷泉碳酸鹽岩進行了無機元素相關研究，以探討其形成環境及冷泉活動時的環境條件。其中，無機元素依據在樣品中含量多寡分為主要和微量元素，研究中利用不同元素的組合比值，例如U/Th、V/Cr、V/(V+Ni)等元素比值，追蹤形成環境的氧化還原歷史。各樣品的V/Cr比值介於2.89至9.63之間，U/Th比值介於0.90至3.47之間，V/(V+Ni)比值介於0.51至0.77之間，對應樣品氧化還原環境皆為還原環境。此外，並使用鋁矽酸鹽分數指標，當樣品特定微量元素含量與Al之相關係數呈正相關時，意謂在碳酸鹽岩形成過程，該特定元素受陸源碎屑或黏土礦物成分影響較大。整體研究結果顯示，臺灣西南部麓山帶的碳酸鹽岩沉積於還原條件，並受冷泉影響於形成過程產生氧化還原變化。無機元素組成能夠記錄碳酸鹽岩形成過程的礦物學與地球化學特徵，因此可被應用於重建冷泉活動當時的環境。本研究聚焦於臺灣西南部麓山帶冷泉碳酸鹽岩進行了無機元素相關研究，為瞭解冷泉活動當時的環境條件提供了重要的參考。

中文關鍵字：冷泉碳酸鹽、台灣西南部麓山帶、無機元素

Keywords: Cold Seep Carbonate, Southwestern Taiwan Foothills Zone, Inorganic Elements

On the variety of analytical tasks performed by bench-top micro-X-ray fluorescence spectrometry

Wan-Ting Hsu¹, Kwan-Nang Pang^{1*}, Truong Tai Nguyen^{1,2}

¹Institute of Earth Sciences, Academia Sinica, Taipei, Taiwan

²Hanoi University of Mining and Geology, Hanoi, Vietnam

Since installation in August 2020, the bench-top micro-X-ray fluorescence spectrometer M4 Tornado Plus has been used to perform various analytical tasks related to petrology and geochemistry. Here, we provide a brief overview of those tasks using case examples. The first one involves rapid determination of modal mineralogy in igneous rocks and mantle rocks, improving the accuracy and efficiency over the conventional method of point counting. The second example is the determination of bulk compositions of finely ground samples as pressed pellets, including samples that are hard to analyze on glass discs by conventional X-ray fluorescence spectrometry. The third example refers to analysis of heterogeneous rocks involving pseudotachylite, the distribution of which is in many cases uneven. The last example refers to qualitative verification of zircon grains to facilitate in-situ U-Pb isotopic analysis by LA-ICP-MS. The above examples illustrate the robustness of bench-top micro-X-ray fluorescence spectrometry in petrology and geochemistry research. We welcome domestic and international collaborators to jointly explore this newly established technique, including but not limited to the above tasks.

大屯火山群水質監測

Water Quality Monitoring of the Tatun Volcano Group

吳嘉泰、呂學諭、畢如蓮、吳雅文

中正大學地球與環境科學系 碩二

指導教授：呂學諭教授

j6ru8w94@gmail.com

在過去對大屯火山群已有不少相關研究，也找到許多影響水質的因素，這些因素對火山監測乃至地熱開發，都有重要的影響；本研究希望藉由大屯火山中各個地區的微量成分的變化以及長時間的觀測，可以更進一步的了解其大屯火山群內水質的代表性。本研究採樣時間為 2021 年 3 月到 2022 年 8 月，採樣地點由南至北分別為，地熱谷、湖山、冷水坑、七股、大油坑、八煙、四磺坪、大埔以及磺港共 9 個地區，在現場量測基本水質資料，其中包含溫度、導電度、酸鹼度、氧化還原電位等，並將水樣帶回實驗室，透過離子層析儀(IC)、感應耦合電漿光譜儀(ICP-OES)以及感應耦合電漿質譜儀(ICP-MS)進行分析，其中分別針對陰離子、主/次要元素、微量元素、稀土元素進行分析。

透過分析結果 piper 圖，大致可以分成以 Na 為主的氯鹽型水質(地熱谷、大埔、磺港)、以 Ca-Mg 為主的碳酸鹽型水質(湖山、冷水坑)、以 Ca、Mg 為主的硫酸鹽型水質(七股、八煙、四磺坪)以及混和的硫酸或氯鹽型水質(大油坑)，再把沉積岩地區(地熱谷、大埔、磺港)與火成岩地區(其餘)分成兩類，位於沉積岩地區的 B、Cl 來源是原始岩漿氣體，而火成岩是以雨水或風化作用為主的 B、Cl 來源，其中大油坑較為特別，由於其 B 跟 Cl 相較其他火成岩地區來的高，因此推測是以原始氣體為主的 B、Cl 來源；至於稀土族元素透過大屯火山的安山岩正規化後的相對濃度可以看出沉積岩區的地熱谷及大埔的 Eu 具有負異常，而其餘火成岩區的 Eu 則有正異常或輕稀土富集的現象；透過 18 個月的觀測，地熱谷以及大埔無論在 piper 或稀土族元素上的表現皆無明顯的變化，其餘地點的變化則跟水源、降雨、蒸發作用等因素有關。

Interpreting the transport history of long-runout flow in Sanzhi area by calculating the volume of volcanic extrusion materials.

Wei-Che Li¹、Kerry Sieh²、Yu Wang¹、Yu-Chang Chan³

(1) Department of Geosciences, National Taiwan University、(2) Earth Observatory of Singapore, Nanyang Technological University、(3) Institute of Earth Sciences, Academia Sinica, Taipei, Taiwan

Abstract

The Tatun Volcanic Group (TVG) is in northern Taiwan, near the Taipei metropolitan area. Its well-preserved volcanic landforms suggest that TVG is a young and active volcano system with the potential to be active in the future.

Along the northern flank of TVG and Taiwan's northmost coast, a series of long-runout flows, long interpreted as lahars, have clear and well-preserved surfaces. The surface texture of these flows and their long runouts suggest that some may have been the result of volcanic sector or dome collapses, either during or after eruptions.

We explored the sources and genesis of two of these deposits to improve understanding of its nature and genesis. Both lie in the center of Sanzhi District. We use IES' high-resolution digital elevation model and GIS software to map the extent of this deposit and relevant nearby volcanic geomorphology. This enabled analysis of plausible sources and the volumes of this long-runout event.

The features we analyzed are a 3-km long fan-shaped lava flow and a hand-shaped long-runout flow that extends 6 km from beneath lava flow. Our mapping suggests both the lava flow and the long-runout flow likely came from Mt. Siaoguanyin, which exhibits an amphitheater with 1 km in diameter southeast of the flows. We hypothesized that a sector collapse created the amphitheater morphology. We tested this by comparing the volumes of the long-runout flow and the volume lost by our hypothetical collapse of Mt. Siaoguanyin.

The estimated volume of the collapsed Mt. Siaoguanyin is similar to our preferred volume estimate of the long-runout flow. This supports our interpretation that the long-runout deposit likely came from the collapse of Mt. Siaoguanyin. Other large collapses of volcanic edifices are known in the TVG, but they do not have such a classic amphitheater morphology. We address on this poster the principal obstacle to accepting this interpretation – the existence of an enigmatic piece of topography between the flow and the amphitheater. We hope that our work will contribute to the improvement of hazard assessment and mitigation of future TVG events.

Keywords: Tatun Volcanic Group, long-runout flow, volcanic collapse, Mt. Siaoguanyin, lahar, hazard

以影像分析探討大屯火山群含石英的安山岩特徵之 研究

Application image analyze on the characteristics of andesite with quartz in Tatun Volcano Group

*陳宣融¹、陳育茹¹、劉佳玫²

¹中國文化大學地質學系 大學部

²中國文化大學地質學系 助理教授

摘 要

大屯火山群有關“石英”的研究主題甚少，過去的研究推論大屯火山群的安山岩中的石英或者是土壤中的石英來源是因岩漿上升過程捕獲五指山層的石英砂岩，或是在火山噴發過程將五指山層的石英砂岩一併帶出至地表，經過長期的風化作用後形成大屯火山群土壤中的石英。主要原因為大屯火山群覆蓋在五指山層之上，且該岩層屬於石英砂岩。然而，近年來，陸續有文獻報導於馬祖窟火山碎屑岩發現破碎的石英顆粒散佈於斜長石、角閃石及輝石礦物之中；於紗帽山東南坡面層狀火山熔岩發現再結晶石英及自型斜長石鑲嵌在一起；於紗帽山東南坡面及山頂的火山熔岩石基呈現自型的斜長石及它型的石英；於天母古道、十八份及湖山的火山熔岩石基為自型斜長石但是無石英出現，但是，天母古道有些火山熔岩之中存在捕獲的再結晶石英、自型的斜長石與自型的角閃石，而這些火山熔岩的石基則為自型的斜長石。本研究使用Olympus光學顯微鏡分析標本中礦物的種類。其中以4倍物鏡拍攝岩石薄片並將整體薄片以全景接圖方式銜接起來，以呈現整體岩石的面貌，稱之為全景細節圖。由於影像處理科技技術已相當進步且成熟，若能以影像分析岩石礦物顆粒大小、排列等資訊將有別於以往用定性或概估方式。

目前研究結果為位於前山公園、天母古道及燒庚寮，其安山岩基質大致上可以分為兩類，一為細長狀，另一為圓狀。部分標本內可觀察到顯著的再結晶作用的石英顆粒。未來將進一步量化石基與斑晶中石英、鐵鎂礦物及斜長石種類之含量百分比與各種礦物之間的關係。

大屯火山群週期性次聲波訊號之初步分析

史旻弘^{1,2}、林正洪^{1,2,3}、賴雅娟^{1,2}、李曉芬^{1,2}、鄧嘉睿^{1,2}、劉進興^{1,2}

(1) 大屯火山觀測站

(2) 財團法人國家實驗研究院國家地震工程研究中心

(3) 中央研究院地球科學研究所

摘要

2023年3月7日上午台灣時間九點多，大屯火山次聲波觀測網記錄到一連串強烈的訊號，週期性地重複出現且持續了一個多小時。由於火山地區的聲音有許多可能的來源，常見來源是火山內部活動所引起，可能為岩漿或熱液在地下移動擠壓岩層時所產生的聲音，這些聲音的頻率通常在20 Hz以下。另外噴氣孔發出的聲音也是常見的來源，因為當岩漿或熱液系統發生活動時，直接或間接所產生的氣體、蒸氣在地下移動或通過噴氣孔噴發到地表過程，所產生的聲音就成為火山地區常見的次聲波訊號來源。而利用次聲波儀器監測火山群地區的各種聲波訊號，以了解訊號的發生位置、持續時間、發生頻率和強度是否有所改變等，可提供有關火山是否發生活動的重要信息。尤其在大屯火山群地區存在數個大型噴氣孔場域，例如大油坑、小油坑等，這些噴氣孔場域噴氣活動旺盛，透過次聲波儀器監測大屯火山群地區的各種聲波訊號，以了解訊號的發生位置、持續時間、發生頻率和強度是否有所改變等，可提供有關火山是否發生活動的重要信息。本研究將分析大屯火山次聲波觀測網所記錄到的信號，確定其來源並將進一步做相關之分析與討論。

中文關鍵字：次聲波、大屯火山群、大屯火山觀測站

七星山東側蒸氣噴發爆裂口底部火山岩之岩象學與地球化學之研究

Petrographic and geochemical study of the volcanic rocks in drill core from explosive crater in the east side of Chihshingshan

賴旭泯¹、賴昱銘¹、林毓潔¹

¹ 國立臺灣師範大學地球科學系

摘要

七星山亞群為大屯火山群中的一個亞群，主要山峰有：七星山、白雲山、燒庚寮、竹篙山、紗帽山及七股山等。根據前人研究，七星山可分為三期不同岩性之岩漿噴發(分別為紫蘇輝石角閃石安山岩、含角閃石兩輝石安山岩、兩輝石角閃石安山岩)。蒸氣噴發指受到熱/蒸氣驅動的噴發形式，其狹義定義中此噴發形式需由熱液系統驅動，噴發物須具有熱液換質的產物，且需有外源水(蒸氣)的加入。蒸氣噴發產物多以岩屑為主，但偶爾可見極少量的岩漿源產物出現。七星山上有東西兩側各約四個蒸氣噴發爆裂口的裂隙帶，陽管處在 2021 年執行的計畫中，完成了東側四個井的鑽探，分別接鑽至下方火山岩岩心。

本研究針對七星山東側之蒸氣噴發爆裂口之火成岩岩心進行採樣，分別於 S1、S3 兩個鑽井點取樣，其中 S1 取深度 4.3-4.6 m、9.4-9.8 m、11-11.4 m，S3 取深度 5.7-6 m、7.4-8 m 共五段長度進行研究。將岩心製成岩石薄片(岩象學觀察)

後，進行掃描式電子顯微鏡 (Scanning Electron Microscope, SEM)與電子能量散射分析(Energy-dispersive X-ray spectroscopy, EDS)(目的為觀察礦物外型及化學組成)，並進行全岩主要及微量元素地球化學分析。本研究欲利用此岩心中火成岩之各項資訊與前人研究比對，探討七星山東側蒸氣噴發爆裂口下方之火成岩的特性。

關鍵字：岩象學分析、SEM-EDS analyses、七星山

Detection of Cu pollution events over the past 70 years from the sediment cores collected in Ker-Ya River Estuary

Joelle Odelyn Tanuputri¹ (陳欣欣), Satabdi Misra¹, Tzu-Tsen Shen¹ (沈姿岑), Hong-Chun Li^{1,*} (李紅春), Ludvig Löwemark¹ (施路易), Kuo-Yen Wei¹ (魏國彥), Liang-Chi Wang² (汪良奇)

1. Department of Geosciences, National Taiwan University, Taipei 10617, Taiwan

2. Department of Earth and Environmental Sciences, National Chung Cheng University, Chiayi 62102, Taiwan

Correspondence to: Hong-Chun Li (hcli1960@ntu.edu.tw)

Two sediment cores (KY20210429-2a and-2b) were collected from Ker-Ya River Estuary in 2021 in order to investigate heavy metal contamination history. Each core with length of 50 cm was analyzed with scanning XRF to evaluate the copper variation that can be used to determine the true combined depth of both cores, giving a total length of ~83 cm. Radiocarbon dating was carried out to establish the age-depth model. Our ¹⁴C results exhibit the presence of radiocarbon bomb signal in the deepest sample of 78 cm indicating that the entire sediment sequence was closed to that of atmospheric CO₂ at 1955 CE. The highest bomb ¹⁴C activity appeared at 50-cm depth, perhaps reflected that the depositional age of this depth was around 1964 CE (first scenario). However, the bomb ¹⁴C activity at 50-cm depth was equivalent to that of atmospheric CO₂ at 1969 CE (second scenario). Based on the first scenario, the calculated sedimentation rates of 0.877 cm/year and 3.111 cm/year are for interval of 1964-2021 (0-50 cm) and 1953-1963 (50-83 cm), respectively. In the second scenario, sedimentation rates of 0.962 cm/year and 2 cm/year are for interval 1969-2021 (0-50 cm) and 1955-1969 (50-83 cm), respectively. Throughout the sediment cores, there were three Cu pollution events (>157 mg/Kg) from the results of measured aqua regia (AR) treated fine resolution (0.25-cm sampling interval) samples by ICP-OES. The absence of these contamination signals in the 1-cm resolution acid-leached (AL) sample is potentially due to the copper concentration being diluted over its longer time interval. As such, it is important to use high-resolution (0.25-cm) sampling interval of a sedimentary sequence for detecting pollution event in the Environmental Protection Administration (EPA) regulation. In addition, scanning XRF method cannot provide quantitative elemental concentration rather than an analytical method of fast, high-resolution and relative variation of total Cu content. This calls for the EPA to adopt a stricter method when monitoring and examining pollution level within heavily polluted area.

Keywords: Copper pollution, radiocarbon dating, XRF, ICP-OES

化石樹脂之萜類生物指標在埋藏學和古環境重建之應用

張英如¹、張世正¹、蕭良堅²

(1)國立臺灣海洋大學 地球科學研究所、(2)台灣中油公司探採研究所

摘 要

化石樹脂為古植物在防禦機制下分泌樹脂，樹脂歷經長時間地質作用逐漸硬化而成，存在於泥盆紀到新生代的沉積岩中。氣候變化所引起的蟲害、森林火災皆有可能導致樹脂產量增加，樹脂化石化過程中之成岩作用、溫壓條件可能影響樹脂轉變成化石樹脂，然而，化石樹脂的化學組成主要取決於植物來源，萜類化合物(terpenoid)生物指標具有抗生物降解和來源專一性，可作為化石樹脂古植物來源之鑑定。此外，樹脂會從原生礦床運移至較年輕的地層，在樹脂定年研究上常具有不確定性，探討化石樹脂的化學組成可確定古植物來源，利用不同升溫條件模擬樹脂在自然界之深埋歷程，瞭解化石樹脂之化合物隨溫度之熱裂解反應，重建其形成乃至石化過程的埋藏學，進而為環境變遷提供佐證。本研究結合非破壞性與破壞性分析，利用衰減式全反射傅立葉轉換紅外光譜儀(FTIR-ATR)及熱裂解氣相層析質譜儀(PY-GCMS)依化學官能基團將波羅的海鄰近國家、撫順、蘇門答臘等不同產地的化石樹脂分類，再依萜類化合物之組成鑑定古植物來源，進一步探討在自然界歷經成熟過程之裂解反應。結果顯示：拉脫維亞化石樹脂之特徵波「Baltic shoulder」為 Succinic acid 化合物之 C-O 鍵所致，波羅的海和北海之化石樹脂源自於 *Picea* 屬森林，化石樹脂經冰川作用和洪水運輸到整個北歐國家，證實始新世時曾有 *Picea* 屬森林。撫順化石樹脂源自柏科植物，樹脂與現存亞熱帶或熱帶生態系統有關，並與同時代歐洲化石樹脂的生物具系統發育上的親緣關係，推論撫順化石樹脂為 Turgai 海關閉後從歐洲遷徙而來。蘇門答臘化石樹脂是源自於龍腦香科 *Shorea* 和 *Hopea* 屬，根據紅外光譜可與波羅的海、多明尼加和緬甸化石樹脂區分開來。樹脂含有酚類、醇類和羧酸等多種有機化合物，透過石化過程引起酯化反應形成聚合物。拉脫維亞化石樹脂之 C₁₀ 單萜化合物隨溫度增高而降低，Naphthalene 同系物及 C₁₆ 倍半萜類化合物則於 350°C 與 450°C 時訊號相對增強；撫順化石樹脂之 12-hydroxysimonellite 與 Naphthalene 同系物群有明顯相對消長，而 Naphthalene 同系物可能為萜類化合物裂解產物；蘇門答臘化石化機制即是透過萜類化合物分子之間的碳-碳鍵及從含氧化合物中去除水分子，進行聚合反應，Calamene 倍半萜類化合物隨溫度提升而明顯增多。萜類生物指標有助於提供古植物源、植物多樣性與成岩作用之化學轉化等資訊，為沉積環境乃至氣候變遷之古環境重建奠定基礎。

Petrogenesis and tectonic setting of A-type granites in the Bana igneous complex (West Cameroon): Constraints from major and trace element geochemistry.Felicite Ayaba¹, Kwan-Nang Pang¹, Jean-Pierre Tchouankoue²¹Institute of Earth Sciences, Academia Sinica, Taipei 11529, Taiwan²University of Yaounde 1, Department of Earth Sciences, Yaounde, Cameroon**Abstract**

The Bana igneous complex (BIC) is a volcanic-plutonic complex among tens of similar complexes along the Cameroon Line, an ~1500-km-long linear belt of igneous complexes straddling the oceanic-continental transition from the Gulf of Guinea to Chad. This work documents whole-rock geochemical data for plutonic rocks of the BIC to better understand the petrogenetic processes recorded by the rocks and the tectonic setting at which they formed. Major and trace element data and petrographic observations indicate that the plutonic rocks are dominated by granitoids. They have SiO₂ contents ranging from ~69 to ~73 wt.%, and rocks from the northern part of BIC are slightly less silicic than their southern counterparts. Among all studied rocks, there are positive K₂O and Na₂O with SiO₂ trends and negative trends of Al₂O₃, MgO, CaO, Fe₂O₃, TiO₂, and P₂O₅ with SiO₂. All rocks exhibit slight but variable enrichments of LREE over HREE [(La/Sm)_N = 1.11–4.37], negative Eu anomaly (Eu/Eu* = 0.42–0.85), and other geochemical features similar to continental rift-related A-type granites. In view of the close association between the granitoids and basaltic rocks in the BIC, the above geochemical features can be tentatively explained by the fractional crystallization of mafic magma in an intraplate extensional setting. Ongoing work involving zircon U-Pb dating and Sr-Nd isotopic geochemistry of the granitoids, and other rock types of BIC, will refine its emplacement tempo, features of its magma source, and magma-wall rock interaction.

利用鋯石鉛同位素值探討西爪哇火成岩岩石成因與地體構造之演化
Zircon Hf isotopic constraints from igneous rocks on the petrogenesis and tectonic
evolution in the West Java

呂宛馨¹、賴昱銘¹、梁瑋琪²、李皓揚²、Iwan setiawan³

¹ 國立臺灣師範大學地球科學系

² 中央研究院地球科學研究所

³ National Research and Innovation Agency (BRIN), Indonesia

摘要

爪哇島位於印澳板塊及歐亞板塊交界處，為巽他島弧的一部份。印澳板塊向北隱沒至歐亞板塊下方形成巽他島弧。西側的蘇門答臘受到斜向隱沒(Obligate subduction)作用形成，而東側的爪哇島則是正常垂直島弧方向的隱沒作用。西爪哇島及巽他海峽位於蘇門答臘及爪哇島之間的分界，本研究欲瞭解此處的島弧系統在火山活動的時間與空間上演化行為。

鋯石中的鉛同位素可以反映岩漿源區及岩漿活動過程受大地構造的影響。本研究取得前人在西爪哇採集且完成鋯石鈾鉛定年分析及鋯石鉛同位素值分析的樣本。樣本採集自西爪哇的四個火成岩體，分別是Danau火山群、Bayah Dome北部、Bayah Dome南部以及Ciemas地區。當中取13個樣本進行鈾鉛定年與鉛同位素值的分析。根據分析結果可視為三階段，第一階段是17 - 5.4 Ma都有介於 +15.4 ~ +8.7 之間的鉛同位素值，第二階段5 - 2 Ma無岩漿活動，第三階段2 Ma後出現介於 +7.9 ~ +2.8之間的鉛同位素值，相較於第一階段的鉛同位素值來得更小。

透過已知年代與鉛同位素值隨時間與空間的變化，在17 - 5.4 Ma的鉛同位素值都與整個巽他島弧正常隱沒的範圍一致，在5 - 2 Ma蘇門答臘與爪哇的地體構造因進入伸張環境，板塊隱沒作用停止，而蘇門答臘與爪哇開始經歷不同的隱沒系統，推測爪哇下方的板塊經歷撕裂，造成軟流圈的熱從洞口進入使隱沒版片上方沉積物熔融比例增大，並使得此處鋯石的鉛同位素值在2 Ma之後下降至+7.9 ~ +2.8。

關鍵字：鋯石鉛同位素、西爪哇、巽他島弧

Keywords: Zircon Hf isotope, West Java, Sunda Arc

非藍綠菌主導之暮光區珊瑚礁微生物岩

徐鈺婷¹、張英如¹、湯森林²、宮守業³

(1) 國立台灣海洋大學地球科學研究所、(2) 中央研究院生物多樣性研究中心、
(3) 國立自然科學博物館地質學組岩礦學門

摘要

微生物岩 (Microbialite) 是由藍綠菌、細菌和古菌等生物進行生理活動時將碎屑沉積物凝聚、生物礦化作用所產生的生物性碳酸沉積岩。一般認為寒武紀至現今的微生物岩由藍綠菌主導礦化作用，新生代後產生的礁體微生物岩結殼 (Reefal microbial crusts, RMCs) 是近二十年才被發現的新型微生物岩，因珊瑚礁與微生物岩共生長的特殊產狀，目前科學家對其獨特成因及時空分布隨機性仍無法完整解釋。有鑑於此，本研究採集菲律賓Maydonlong海岸全新世之礁體微生物岩結殼，岩芯產狀為珊瑚礁包裹著凝結狀微生物岩 (Thrombolites)，由接觸關係推測微生物岩並非與活體珊瑚同時形成，而是珊瑚死亡後包裹珊瑚並充填於珊瑚間隙，其微環境可能和海表面環境不同，為了解答形成之原始環境，本研究分析珊瑚、微生物岩及沉積物之細菌16s rDNA次世代定序，建立微生物岩之微生物群落庫，以細菌群落推斷微生物岩形成之環境狀態。結果顯示微生物岩細菌族群占比與生物多樣性豐度最高，大多為兼性厭氧菌，細菌群落組成以異養光合作用菌為主，降解尿素及硝酸鹽還原作用菌為輔，*Proteobacteria*、*Actinobacteriota*和*Firmicutes*是優勢門，極少*Cyanobacteria*，並且微生物岩樣本中含有更高豐度及多樣性的*Gammaproteobacteria*與*Bacilli*。值得關注的是促進碳酸鹽沉澱之功能性細菌群落組成包含紫色非硫光合菌 (*Alphaproteobacteria*) 及其他多種尿素降解、硝酸鹽還原誘導沉澱功能性異營細菌。礁體微生物岩結殼產狀指示著為生物礦化主導碳酸鹽沉澱，微環境指示為不直接受光照的洞穴，且此微環境富含有機質並有水體流入供給少量氧氣。礁體微生物岩可能生成於珊瑚死亡後，珊瑚礁持續堆疊而形成接近無光的模糊地帶 (Twilight zone)。有別於過去所熟知以藍綠菌為主導建構之微生物岩，本研究提出一個全新的觀點，為新型非藍綠菌主導之微生物岩，乃是由紫色非硫光合細菌為主導礦化並建造微生物岩，以此作為環境判讀之新指標。

- (1) 國立臺灣海洋大學地球科學研究所 / 張英如助理教授
- (2) 碩士 / 二年A班
- (3) qwer3616575@gmail.com

Source to Sink Relationship for Taiwan and East China Sea Shelf Basin

Sheng-Lin Mao¹, Tung-Yi Lee¹, Yu-Ling Lin¹, Xiao-Jun Peng², Mei-Cheng Lai, and Meng-Wan Yeh¹

(1)Department of Earth Sciences, National Taiwan Normal University
(2) Bureau of Mine, MOEA

Abstract

Keywords:

Detrital zircon,
Provenance analysis,
East China Sea Shelf
Basin

According to the previous research, sediments in western Taiwan were delivered by paleo-Min river in Neogene. On the other hand, modern research indicates that sediments could have deposited in East China Sea Shelf Basin (ECSSB) first, and further transported to Taiwan through recycling. Furthermore, the history of paleo-Yangtze river is also recorded in Yangtze gravel and Jiangnan Basin, as Yangtze river flows through and brings a considerable amount of sediments which could be used to imply the timing of the cut through of Three Gorges (e.g. expansion of Yangtze river from middle to upper reaches). We compiled a large volume of published detrital zircon U-Pb age data from the Yangtze River, Jiangnan Basin, Yangtze Gravel, ECSSB and the East Cathaysia Block to identify the possible source areas of Taiwan sediments. The detrital records from ECSSB have a minor peak of Jinningian age, though it is a major peak in Taiwan and Yangtze river samples. This may show that sediments had a less chance to travel from Yangtze river to ECSSB then to Taiwan. Also, the Jiangnan basin data revealed that Yangtze river could have become a sedimentary source only since the Miocene. Detrital zircon age data of Yangtze river mouth showed that only after 3.3 Ma, the age spectrum have multiple peaks, which may infer a great difference between paleo Yangtze river and present Yangtze river. Moreover, the MDS (multidimensional scaling) plot shows a close relationship between sediments of East Cathaysia, Taiwan Neogene formations and Xihu Sag (part of the ECSSB) Miocene formations, and another group consisting of Jiangnan basin and Yangtze river data. Therefore, we suggest that paleo-Yangtze River might not have reached the present Yangtze River mouth until late Pliocene, and the East Cathaysia should be the main sedimentary source of Taiwan and ECSSB.

學生論文比賽

中華民國地球物理學會與中華民國地質學會112年暨學術研討會 166-SP-CR
CR - 25 years of CREATE: the known, unknown and breakthroughs
亞洲地體構造演化整合研究

Please note the information in the bottom of abstract if you choose to attend to “the Students’ Poster Competition”.

(1) University/Advisor: National Taiwan Normal University/ Tung-Yi Lee

(2) Degree/Grade: Bachelor / Senior

(3) E-mail/Cell phone number: ieo90248942@gmail.com

氫氫定年在昆嵩地塊上的年代學及變質作用探討

作者:許馨予¹、葉孟宛²

(1)國立台灣師範大學 地球科學研究所、(2)國立台灣師範大學 海洋環境研究所

摘 要

根據過去文獻,越南中部的昆嵩地塊(Kontum massif)被認為是印支地塊中古老陸核的代表。此區域之岩石為高度變質之混雜岩相與高度角閃岩相組成,且經歷過泛非期造山事件與印支期造山事件的岩漿入侵與後續的構造變形疊加演化。目前昆嵩地塊中部最老的鋯石鈾鉛年代為 1780 ± 5 Ma,然而此區域的研究相對缺乏,因此精確的年代資料與其地質意義,需待後人釐清。本研究於昆嵩地塊(Kontum massif)其中Kim Son Formation之一個新鮮露頭採樣以進行氫氫定年之分析,期待可對此區域之地史演化提供首批氫氫定年數據。此露頭完整記錄了黑雲母片麻岩、角閃岩,以及未變形花崗閃長岩之交互關係。其中角閃岩為花崗閃長岩之包裹體,亦以串腸和幾十公分等級之斑晶形式包裹於黑雲母片麻岩之主葉理間。顯示角閃岩為此三種岩性中最老之岩石。而未變形之花崗閃長岩應為最年輕之岩石。我們分別由角閃岩與花崗閃長岩中分離純化黑雲母與角閃岩礦物來進行階段式加溫氫氫定年,黑雲母片麻岩則針對黑雲母進行定年。由600度加熱到1500度,每一百度或兩百度持續30分鐘為一階,以VG1200S質譜儀分析,運用法拉第杯來偵測帶電粒子,通過十個循環來測量 ^{40}Ar 、 ^{39}Ar 、 ^{38}Ar 、 ^{37}Ar 與 ^{36}Ar 之電流值,並以ArArCALC來計算樣本年代。目前初步的定年結果顯示:片麻岩中黑雲母的年代頻譜顯示其年代範圍為 $175.05 \pm 62.44 \sim 200.93 \pm 22.88$ Ma,以及坦原年代為 195.53 ± 10.23 Ma (>90% ^{39}Ar 累積釋氣量; MSWD = 0.41);角閃岩中角閃石的年代頻譜顯示其年代範圍為 $256.17 \pm 49.93 \sim 281.48 \pm 17.26$ Ma,以及坦原年代為 277.21 ± 6.95 Ma (>90% ^{39}Ar 累積釋氣量; MSWD = 0.26);花崗閃長岩中角閃石的年代頻譜顯示其年代範圍為 $279.19 \pm 11.82 \sim 291.29 \pm 17.19$ Ma,以及坦原年代為 282.92 ± 5.16 Ma (>85% ^{39}Ar 累積釋氣量; MSWD = 0.46);花崗閃長岩中黑雲母的年代頻譜顯示其年代範圍為 $195.61 \pm 85.16 \sim 227.01 \pm 27.86$ Ma,以及坦原年代為 221.12 ± 8.88 Ma (>90% ^{39}Ar 累積釋氣量; MSWD = 0.24)。在結合本露頭三種岩性的接觸關係與氫氫定年結果顯示:此露頭之原岩應為擄獲角閃岩之花崗閃長岩,其入侵冷卻年代約為280 Ma。而後此花崗閃長岩和其中之角閃岩於190 Ma左右受到構造作用變形而形成黑雲母片麻岩。

(1)就讀學校:國立台灣師範大學 / 指導教授:國立台灣師範大學 葉孟宛教授

(2)學位:碩士四年級

(3)E-mail: karenhsu920082@gmail.com

Numerical modeling of north china craton Thinning and destruction.

鄭名鈞¹、李元希¹、譚諤²

1. 國立中正大學地球與環境科學所 2. 中央研究院地球科學所

Abstract

The North China Craton is located on the Eurasian continental margin. Since the Mesozoic, the Izanagi and Pacific plates are subducting westward with the trench retreating eastward over time. This process is accompanied by extensive magmatism, development of rift basins, and the formation of the Japan sea. The lithosphere of the North China Craton, which is about 220 km thick, gradually becomes thinner from west to east down to around 60-80 km.

Due to extensive magmatism between 140-120Ma, we believe that the North China Craton was positioned at the back-arc area of the Eurasian continental margin where the Izanagi plate currently subducts, and the trench gradually migrated eastward. We assume that the subduction event formed a large-scale high-temperature weak zone, similar to the high-temperature back-arc region mentioned in (Currie & Hyndman, 2006). By using thermo-mechanical modelling, we simulated the Craton break-up process. Following a continuous eastward extension model characterized by normal faulting and lithospheric thinning, we approximated the observed lithospheric variations. If the extension of the Japan sea is not considered, lithospheric thickness was simulated to decrease from 220 km to 60 km eastward. Within 600 km of tension, continuous lithospheric thinning will eventually lead to the formation of oceanic crust (Japan sea).

We tested the mechanism affecting lithosphere thinning and found that a large-scale initial high-temperature weak zone and a low-viscosity mantle (with a large amount of fluid participation) are the key factors for the break-up of the North China craton.

關鍵字：歐亞大陸邊緣、張裂作用、數值模擬、地盾裂解

Keyword : Eurasian continental margin, Rifting, Numerical modelling, craton destruction

(1) 就讀學校/指導教授:中正大學/李元希 教授

(2) 學位/年級:碩二

(3) E-mail/手機號碼:minjunzheng@gmail.com

Optimizing Micro-Size Asbestos Identification by Improve DS-PLM technique

Ming-Fen Wei, Huai-Jen Yang

National Cheng Kung University Department of Earth Sciences, Taiwan

Abstract

Prohibited asbestos issue are focused on six types of asbestos for international concern and restrictions, recognized method is major on polarized light microscope. Identification mineral grain optical properties and morphology. Especially emphasize asbestiform morphology: fibric length longer than 5 μm and aspect ratio greater than 20:1 to distinguish regulated asbestos from non-regulated asbestos. At present, the asbestos identification standards in various countries mainly use polarized light microscope as an identification tool. Apply the interaction between polarizing microscope and mineral fiber to observe the optical properties and morphology of prohibited asbestos. A conventional PLM asbestos identification must contain a "dispersion staining" technique to evaluate the refractive index of asbestos. Most apply central-stop dispersion staining objectives (CS-DSO) in this field, while the central-stop mode is not available to high-power 40x objective (high numerical aperture). To the micro-size asbestos particle's identified requirement, we tried to study other two alternative configurations to comply with the high-power dispersion staining technique. Among, one mode is phase contrast microscopy (PCM), and the other mode is dark-field microscopy (DFM). Here, we replaced a substage condenser (two-lens Abbe condenser) with a turret phase contrast condenser in the PLM equipment, which contains an iris diaphragm (aperture: A) and several specific annular apertures (annular diaphragm: Ph1, Ph2, Ph3, DF). And we also purchased two Nikon high-power objectives: x40/0.75(DM) and x40/0.75(R-DS). Through

real experiments and paper reviews, we clarify why the central-stop dispersion staining mode is not suitable for high-power objectives and confirm that phase-contrast microscope mode or dark-field illumination mode can be applied to high-power objectives. We re-integrated a dispersion staining color chart indicating the difference (Δ_D) in refractive index between minerals and oil for three types of dispersion staining techniques for Central Stop mode, PCM mode and Darkfield mode. In addition, we emphasize the optical mechanisms for two types of annular stop objectives (AS-DSO) in PCM mode, that one is the DM objective, and the other one is the R-DS objective. In the back focal plane of the DM objective placed an annular phase-amplitude plate, while the R-DS objective placed an opaque ring (annular amplitude plate). However, little is known about the DM objective in PCM mode getting two-color pair dispersion staining, while the R-DS objective in PCM mode gets a single-color dispersion staining, which is the same as the x10 central stop objective. In this regard, making good use of these two types 40x AS-DSO in PCM mode to polarizing microscope, will improve the quality of identification between micro-size asbestos and resembling asbestos (sepiolite). Through our studying and illustration, the mechanism and significance of these dispersion staining techniques would be a deep impression, and the mystery of PCM dispersion staining can be resolved.

James Kelloway (柯澗敏)

Master Student, National Dong Hwa University, Taiwan (R.O.C.)

&

Shih-Jang Hsu (許世璋)

Professor, National Dong Hwa University, Taiwan (R.O.C.)

The Roadside Geology of Hualien County: Facilitating Earth Science Education Through a Self-Guided Tour Book of Hualien's Geologic Outcrops

Taiwan's Hualien County is home to a unique and diverse array of geologic landscapes, its tourism sites from the East Coast National Scenic Area to the world-famous Taroko National Park puts geology in the spotlight for all visitors to enjoy. Yet, Hualien's treasured terrain contains a complicated geologic story for a tourist without a geoscience background to grasp. This project brings the 'hard' geology into geotourism, breaking down the knowledge barriers of Taiwan's geologic history by transforming tourists into 'citizen scientists', providing readers with the tools to analyze and obtain information from a rock outcrop at their leisure with a guided roadside geology tour book. Roadside geotourism, originating from Mountain Press Publishing's popular USA book series, *Roadside Geology*, guides readers through geologic time along a highway, and connects geologic sites to a location's historical context and societal development. With textbook-quality sedimentary, igneous, and metamorphic outcrops all accessible by car, tour bus, bike or motorcycle within the span of one day, Hualien County is an ideal location for a *Roadside Geology*-esque tour book. This presentation will display two pages from *The Roadside Geology of Hualien County*, which guides readers to a real outcrop, and step-by-step takes them through a simple analysis of geologic textures, mineralogy, weathering, and contact boundaries to piece together the 'story' of the outcrop, and ultimately its connection to the formation and shaping of modern Taiwan topography and civilization. This project aims to promote public understanding of the ever-present link between geology and society, ultimately facilitating more engagement with earth sciences, and nurturing readers' sense of place among nature through geologic exploration.

Key Words: Earth Science Education, Roadside Geology, Geotourism, Citizen Scientists, Field Geology, Guide Book

Analyzing gravitational deformation kinematics of slate slopes by PSInSAR analysis and DEM simulation

Cheng-Han Lin¹、Ming-Lang Lin¹

(1) Department of Civil Engineering, National Taiwan University

Abstract

Research in Europe Alps and Japan demonstrated that the deep-seated gravitational slope deformation (DSGSD) is governed by deep intrinsic structure and manifested by surface morphological features such as scarps and double-crested ridges. In Taiwan, although there have been intensive case studies on the DSGSDs over the last decade, there is still a lack of knowledge on how to characterize deep structures deformation during a prolonged period, how they affect the surface morphology evolution, and how to quantify their impact on the slope instability. This study aims to analyze slope deformation kinematics and investigate the influence of the DSGSD process on present-day slope activity. We implement PSInSAR analysis and DEM simulation for the slate slopes in the Chingjing region, which contains a key large landslide announced by the government in 2022.

Based on the velocity data from the PSInSAR analysis, five DSGSD domains with relatively higher deformation kinematics were recognized, which include a site that has not been investigated/monitored by the government departments. The displacement rate of these domains ranges from 10-30 mm/year in the analytical period of 2018-2020. Furthermore, we calculated the decomposed displacement vector of PSInSAR data and integrated it with the results of the DEM simulation to reconstruct the geometrical and kinematical model for each domain. The DEM simulation also reveals the intrinsic connection between deep structure deformation and surface morphological change. Overall, with the aid of PSInSAR technique and DEM modeling, the hazard assessment for the slate slopes deformation can be improved in time span and spatial distribution.

Attend to “the Students’ Poster Competition”.

(1) University/Advisor: National Taiwan University/ Prof. Ming-Lang Lin

(2) Degree/Grade: Ph.D. candidate/ 4

(3) E-mail/Cell phone number: stephanlin@outlook.com

Scale effect of the spatial correlation length used in stochastic Markov random field: A case study in the Taipei Basin

Le Hoai Han¹, Jia-Jyun Dong^{1,2}, Yu-Chen Lu^{3,4}, Stefan Christopher Nicholas¹

(1) Graduate Institute of Applied Geology, National Central University, Taoyuan City 32001, Taiwan

(2) Earthquake-Disaster & Risk Evaluation and Management Center, National Central University, Taoyuan City 32001, Taiwan

(3) Department of Civil Engineering, National Central University, Taoyuan City 32001, Taiwan

(4) Institute of Materials Science and Engineering, National Central University, Taoyuan City 32001, Taiwan

Abstract

The stratigraphic model plays a fundamental role in earth science, geology, and geotechnical engineering. However, a 100% correct stratigraphic model is not always obtained, and stratigraphic model uncertainty is difficult to quantify. Recently, stochastic Markov random field (MRF) could simulate a series of potential stratigraphic models, which can provide information for stratigraphic uncertainty evaluation. One of the MRF parameters, spatial correlation length, a , controls the geometry in the MRF simulation. Although some studies have already investigated the influence of a on MRF simulation and proposed the calibration method for it, there is seldom literature to study the scale effect of a .

This paper presents the scale effect of the spatial correlation length of MRF. First, this paper selected a geological profile, referred to as the population profile, in the Taipei Basin as the study site. All soils from the boreholes were calibrated with geological knowledge and geological statistics. Then, several sub-profiles, referred to as the sampling profile, were obtained by cutting equal-sized profiles uniformly from the population profile. The sampling profiles were performed by MRF, and their a values were calibrated using the maximum likelihood principle by comparing simulation results with borehole data. A series of a under specific sampling profile sizes were obtained. Three sampling profile sizes were studied. The results show that as the sampling profile size increases, the mean of a presents a certain value and the uncertainty of a decreases. The representative sampling profile size could be further determined based on the acceptable uncertainty level of a .

Keyword: Markov random field, Stratigraphic model, Scale effect, Spatial correlation length

Student's Poster Competition

(1) National Central University/ Adviser: Jia-Jyun Dong. Co-Adviser: Yu-Chen Lu

(2) Master's Degree/ Second year

(3) Email: hoaihan.geo13@gmail.com

Evaluating the relationship between shear-wave velocity, void ratio, and effective stress and V_{S30} via extrapolation methods in the Taipei Basin

Nguyen Thi Mai Linh¹、Jia Jyun Dong¹、Chun Hsiang Kuo²

(1) Graduate Institute of Applied Geology, National Central University

(2) Department of Earth Sciences, National Central University

Abstract

The site effect plays an important role in issues related to strong ground motion studies. The site effect caused by soft deposits overlaying hard rock, cause seismic ground motions to be amplified increasing damage during large earthquakes. The time-averaged shear-wave velocity in the upper 30 meters (V_{S30}), is the most popular and widely used site parameter representing the site effect in engineering seismology. In this case, V_{S30} can be estimated based on void ratio and effective vertical stress by empirical equations with data greater than 30 meters. An extrapolation method is applied when available data is less than 30 meters. The data of soil physical property tests and wave velocity measurements from the Engineering Geological Database for TSMIP (EGDT) were collected and checked, we then proposed a new empirical equation to predict the shear-wave velocity (V_S) using void ratio and effective vertical stress. Using both the empirical equation and extrapolation method, the V_S at each depth from numerous drilling boreholes from Taiwan Central Geological Survey (CGS) will be estimated to obtain V_{S30} for each borehole. Then spatial interpolation will be used to create a distribution map of V_{S30} in the Taipei Basin.

.Keywords: V_{S30} , void ratio, effective stress, Taipei Basin, site effect.

The Students' Poster Competition:

(1) National Central University/Advisor: Jia Jyun Dong, Co-Advisor: Chun Hsiang Kuo

(2) Master's Degree/ Second year

(3) E-mail: mailinh.nguyen997@gmail.com

考慮地質模型提升Vs30分布圖可靠度之研究

--以臺北盆地為例

林頤謙¹、董家鈞¹、盧育辰²

(1) 國立中央大學應用地質研究所

(2) 國立中央大學材料科學與工程研究所

摘要

長期以來，場址效應的估算一直是工程地震學中重要的問題之一。局部的場址效應在改變地表運動方面扮演關鍵的角色，當地層下層為岩盤、上層為鬆軟沉積物時，可能會導致地表的震波產生放大的作用(Pratt et al., 2003；Vilanova et al., 2018)。時至今日，地表下三十公尺平均剪力波波速(Vs30)多被用來作為評估場址效應的重要參數(Lee and Tsai, 2008；Liu and Tsai, 2015)。因此，需要針對尚無剪力波波速測量值的位置進行推估。郭俊良(2021)藉由全臺強震站鑽井資料進行迴歸分析，建立用於臺北盆地礫石、砂、粉土以及黏土的孔隙比(void ratio)、垂直有效應力(vertical effective stress)與剪力波波速(shear wave velocity)關係之經驗式。以往對Vs30分布的研究大多利用已知點位的值，透過參數的空間內插推求全區的空間分布，本研究則希望結合地質模型的建立，利用土壤物性與剪力波波速的關係式(郭俊良, 2021)來計算Vs30，提升Vs30分布圖的可靠度。

本研究使用大量來自地調所工程鑽探資料庫以及強震測站工程鑽探資料庫之鑽井，並且參照前人對於臺北盆地地層分層之研究(Teng et al., 1999；Lee et al., 2002；Teng et al., 2004；Su et al., 2016)，將臺北盆地內的地層分為頂部之松山層、松山層底部以下之礫石層以及基盤，接著加入Lee(2002)的地球物理震測資料以及電測資料補充鑽井資料不足之處，並以普通克力金法(Ordinary kriging)建立模型，並使用隨機場模擬做松山層內之分層以及顯示模型之不確定性，最後導入郭俊良(2021)的經驗公式求得任意點位的Vs值，換算成Vs30後再跟前人使用空間內插作出的Vs30分布圖作比較，增進Vs30分布圖的可靠度。

【學生壁報比賽】參與者於摘要尾端註記

- (1) 就讀學校/指導教授: 國立中央大學/董家鈞 教授
- (2) 學位/年級: 碩士生/二年級
- (3) Email/手機號碼: otogaikenn@gmail.com

基於多期點雲模型探討公路岩坡漸進式災害之運移變遷

張桂瑛¹、黃韋凱²、林承翰¹、林銘郎¹

(1)國立臺灣大學土木工程學系、(2)財團法人中興工程顧問社

摘要

岩石邊坡的穩定性對山區道路來說是非常重要的課題，落石、崩塌等常見的公路岩坡災害經常對用路人造成重大的威脅。每當災害發生後，權責單位需快速的對邊坡進行評估並且研擬相關對策，其首要任務就是要估算崩塌與潛在的滑動量體，同時掌握鬆動岩體的堆積範圍和未來可能的運移變遷。隨著科技發展，透過無人載具拍攝影像並建立三維點雲模型對公路岩坡災害評估帶來許多便利性，其中，又以多期且短時序的點雲模型庫是對災害評估的最大助益，但同時也在各期模型間的定位誤差、環境因素上存在工程應用上的疑慮。因此，本研究以北橫公路49.8K處所發生的漸進式岩坡災害作為研究案例，初探基於多期點雲模型分析公路岩坡漸進式災害之運移變遷的可行性。

在2022年9月13日梅花颱風離開台灣後，北橫公路的49.8K里程處在隔日清晨隨即發生第一次崩塌，導致該路段雙向阻斷並於兩天後才搶通。但在災害後的五個月內，本團隊又紀錄了5次的崩塌災害，崩塌影響範圍也持續擴大，截至2023年2月，該處公路段仍維持交管放行與道路管制。本研究團隊針對該公路段的歷次災害前後均有進行無人載具拍攝，獲得一共6期的三維點雲模型，首先透過迭代最近點(Iterative Closest Points, ICP)技術來降低各期點雲模型的定位誤差，並引入M3C2 (Multiscale Model-to-Model Cloud Comparison)演算法釐清在歷次災害中，破壞岩體的運移行為和鬆動岩體的堆積區域，結果得以重建北橫49.8K處岩坡漸進式災害之運移變遷。本研究也利用GIS圖台展示多期點雲分析所得到的塊體位移場，將上述成果轉化為權責單位和施工廠商容易使用的資料格式，將有利於下放科學技術到災防工程的實踐中。

參加【學生壁報比賽】

- (1) 就讀學校/指導教授: 國立臺灣大學 / 林銘郎 教授
- (2) 學位/年級: 碩士班 / 1
- (3) E-mail/手機號碼: nini890801@gmail.com

裂隙強度與斷層破壞帶之關係探討，以奇美斷層為例

陳星雅¹、吳明諭¹、羅 偉¹

(1) 國立臺北科技大學資源工程研究所

摘 要

斷層帶(fault zone)由核心部分向外可以分為斷層中心(fault core)與斷層破壞帶(fault damage zone)，斷層中心會因為斷層的摩擦作用而產生不同的斷層岩；斷層破壞帶會因為斷層活動而產生不同的裂隙樣貌及強度，根據不同的斷層岩和裂隙樣貌及強度可以得知斷層中心及斷層破壞帶的範圍，瞭解斷層帶與圍岩的邊界。

由於斷層未必會於地表出露，也可能因為地表岩石受侵蝕或是被植被覆蓋而難以觀察，故本研究選擇奇美斷層作為研究對象，奇美斷層經過秀姑巒溪使該區有三處良好的觀察地點，選定位於奇美泛舟休息站東北方，往下游步行 150 公尺處作為研究區域，從該處向奇美斷層兩側以長寬各 1 公尺的木框，沿著河道露頭進行拍攝，上盤 242 張及下盤 101 張照片，首先將照片進行正射處理，再將照片中的裂隙數化後，根據每張實際長寬各 1 公尺的照片計算出裂隙強度，並觀察裂隙強度變化的趨勢，進而辨別斷層破壞帶的範圍。

裂隙強度會隨著離斷層的距離越遠越低，本研究將裂隙分析結果分為 5 個等級，裂隙強度最高 5 分依序遞減至 1 分，以此方式來統計和呈現裂隙強度，但初步研究的裂隙強度變化由內向外的趨勢為中高低中，數值區間為 115 到 31，推測原因為本研究目前採用每間格 9 張數化 1 張裂隙的方式進行分析，裂隙網格不連續，造成裂隙強度變化趨勢較不明顯，本研究將繼續完成中間部分的裂隙分析，以更清楚奇美斷層破壞帶的寬度。

【學生壁報比賽】

關鍵字：裂隙強度、斷層破壞帶、奇美斷層

(1) 國立臺北科技大學/羅 偉

(2) 碩士/二年級

(3) t110798003@ntut.org.tw

以離散元素法模擬重現大規模崩塌之地形演育

魏廷軒¹、林承翰¹、林銘郎¹

(1)國立台灣大學土木工程學系，台北，台灣

摘 要

自2009年莫拉克颱風以來，台灣一直致力於大規模崩塌的研究與防治工作，當時的風災引發了大量的山崩、土石流等災害，造成了重大的損失和傷亡，因此開始有學者致力於災害風險評估與防治工作等相關研究，使台灣在大規模崩塌的研究與防治有重要的進展。近年來針對大規模崩塌的研究方向主要分為兩部分，其一為大規模崩塌的形成機制，透過野外調查、鑽探資料等結果，判斷崩塌主因、運動方式、歷史滑動面並提出合理地質模式，其中可能包括從古至今的多次災害，藉由該地質模式可以了解崩塌的成因以及後續崩塌的可能性。另一主要方向為大規模崩塌單一事件的運移過程，透過先進的數值模擬工具，於軟體中重現大規模崩塌發生時的災害情形，並透過軟體進行後續崩塌規模、運移情況以及災損範圍的預測，同時可利用相關參數進行敏感度分析，甚至能加入防治工法模擬施工後的成效。

本研究宗旨在於透過三維離散元素法軟體Particle Flow Code結合上述兩大研究方向，以臺中草湖溪糖廍橋下游崩塌地為例，透過數值重現大規模崩塌的演育歷史。透過衛星影像與航照判釋發現該崩塌地自1948年曾發生至少五次崩塌事件，使坡趾處堆積逾20公尺厚度之崩積層。該案例於2018年興建擋土排樁整治邊坡完成，然於2019年6月大雨事件導致源頭區岩體產生順向坡滑動撞擊下方坡趾處崩積層，進而使崩積層前方擋土排樁損壞，本研究基於歷年地形資料來對該崩塌地歷史地貌進行建模，利用前人調查卓蘭層地層柱建立地質模式納入數值模型當中。模擬顯示，源頭區順向坡受侵蝕溝下切而導致部分見光滑出，鬆動岩體於滑動趾部自然形成崩積層，最終將能還原2019災前地形。

透過臺中草湖溪糖廍橋崩塌案例提出歷經多次災害之大規模崩塌地的建模流程，相較於以往只針對單次災害的建模，此模型加入地質模式的觀念後能提出更合理之地工模式，後續分析將基於此數值模型，進一步探討2019年排樁受損之情形。

參加學生壁報競賽

- (1) 就讀學校/指導教授: 國立台灣大學/林銘郎 教授
- (2) 學位/年級: 碩士/二年級
- (3) E-mail/手機號碼: s0978129210@gmail.com

墾丁外來基性岩體低度換質作用之礦物學研究
Low-grade metasomatic mineralogy of mafic rocks as exotic blocks in the Kenting melange, southern Taiwan

吳喬宸¹、黃克峻¹、江威德¹

Chiao-Chen Wu¹, Ko-Chun Huang¹, Wei-Teh Jiang¹

(1)國立成功大學地球科學系 Department of Earth Sciences, National Cheng Kung University

摘 要

墾丁混同層之火成外來岩塊曾經歷強烈剪切作用，散布體積顯著不同之破碎岩體，且普遍富含裂隙或氣孔充填次生礦物。本研究針對墾丁混同層小尖山火山角礫岩體以及保力溪枕狀玄武岩塊，進行 X 光繞射、實體及電子顯微鏡和拉曼光譜分析，以瞭解次生物質特徵及探討其對熱液換質之隱示。

保力溪枕狀玄武岩塊具深綠色基質，常見白色至淡綠色岩脈貫穿，岩脈外圍鄰接岩體基質轉為淺綠—土黃色，深綠色基質由斜長石、斜輝石及綠泥石組成，淺色基質則另增加葡萄石；岩脈充填葡萄石和方解石，岩脈中心局部生成矽硼鈣石(datolite)，整體呈現遭受廣泛性熱液換質之現象。

小尖山角礫岩體由大小不一之玄武岩質角礫和磚紅色角礫間隙基質所構成，角礫常見氣孔，局部具有白色岩脈，部份角礫富含粗粒斜長石斑晶。角礫礦物組成包含鈉長石、方沸石、斜輝石、綠泥石及赤鐵礦，角礫間隙基質主要由方沸石、赤鐵礦及少量斜輝石、鈉長石及綠泥石組成；不同角礫之氣孔充填礦物可不同，主要充填綠纖石、綠泥石或綠簾石，局部伴隨黏土礦物或鈉長石；角礫裂隙岩脈礦物組合包含 (1)方沸石+方解石，局部伴隨晚生葡萄石、綠纖石、黏土礦物、鈉長石或瀝青；(2)方解石伴隨少量方沸石；(3)葡萄石+方解石+矽硼鈣石。初步推測小尖山岩體角礫氣孔次生礦物為洋底換質作用產物，整體遭受後期相對廣泛但不同程度之低溫熱液蝕變影響，沿裂隙沉澱不同階段之多種次生物質。保力溪與小尖山岩體所見之裂隙充填次生礦物是否為岩體推擠抬升過程所產生，仍待進一步證據證實。

關鍵詞：墾丁混同層、外來岩體、換質作用、矽硼鈣石、葡萄石

Keywords: Kenting melange, exotic block, metasomatism, datolite, prehnite

(1) 就讀學校 / 指導教授：國立成功大學 / 江威德教授

(2) 學位 / 年級：學士 / 三年級

(3) E-mail / 手機號碼：jjerry0410@gmail.com

太魯閣帶的不純大理岩

李宜臻¹、蔡金河¹、Yoshiyuki Iizuka²

(1) 國立東華大學自然資源與環境學系碩士班地球科學組、(2) 中央研究院地球科學研究所

摘要

大理岩是太魯閣帶主要的組成岩類，既是臺灣最古老的岩石，也是重要的經濟礦產資源；然而，由於太魯閣帶大理岩的組成礦物種類不多，可應用的地質溫壓計亦鮮少，以致其岩石成因、變質條件及地質演化等研究資料相當缺乏。為彌補臺灣大理岩地質研究的空缺，本研究針對太魯閣帶的不純大理岩(impure marble)進行岩象觀察及礦物化學分析。不純大理岩是指其中矽酸鹽礦物含量高於5%者，這類礦物有助於探討岩石成因，與制約變質條件。根據研究結果，初步將這些不純大理岩概分四類。Type I含黝簾石、白雲母、富鋁楣石等礦物，其原岩偏泥灰岩質；Type II則含透閃石、滑石、金雲母等鎂含量較高的礦物，其原岩偏白雲石質；這兩類反映了原岩中矽、鋁、鎂等元素含量的差異。Type III含鈣鎂閃石(pargasite)-鎂普通角閃石、黑雲母、綠簾石/(斜)黝簾石和綠泥石等鐵鎂含量較高的礦物，此類樣本發現於與角閃岩接觸的大理岩，二岩性交界處出現因交代換質作用形成之反應區(reaction zone)，Type III可能經歷較Type I、II更高之變質溫度。Type IV樣本含矽灰石(wollastonite)、透輝石、鈣鐵榴石-鈣鋁榴石(Andradite-grossular)，此礦物共生組合隱示此大理岩曾經歷接觸變質作用，該樣本為太魯閣帶南段鹿寮溪的轉石，儘管產狀未知，但其礦物組成可對比過去文獻所描述變質花崗岩中的大理岩包體。太魯閣帶不純大理岩具多樣化的礦物共生組合，可能指示不同的原岩形成環境與變質溫壓條件，而據此首次發現之Type IV含矽灰石之大理岩，可推測太魯閣帶南段應存有與深成岩體相關之接觸變質岩體尚待探尋。

【學生壁報比賽】

- (1) 國立東華大學/蔡金河
- (2) 碩士班/三年級
- (3) 610954031@gms.ndhu.edu.tw

海岸山脈烏石鼻火山集塊岩體沸石礦物羣與產狀之研究
Zeolite assemblages and occurrences in the Wushiipi agglomerate, Coastal Range,
eastern Taiwan

陳宥均¹、黃克峻¹、江威德¹

Yow-Jiun Chen, Ko-Chun Huang, Wei-Teh Jiang

¹ 國立成功大學地球科學系

Department of Earth Sciences, National Cheng Kung University

摘要

海岸山脈烏石鼻火山角礫岩和熔岩流岩體生成具有不同產狀特徵之沸石類礦物，本研究以現地調查、實體光學及電子顯微鏡、X光繞射和拉曼光譜等方法，鑑定此兩種岩體之沸石次生礦物種類與產狀和分布。具柱狀節理之熔岩流岩體富含氣孔，其充填物包含孔壁黏土礦物、十字沸石(Phillipsite)及少量方沸石(analcime)、鈉沸石(natrolite)、魚眼石(apophyllite)，以前二者為主；熔岩流塊外緣局部具有破裂岩體，其氣孔充填孔壁黏土礦物、十字沸石、水鈣沸石(gismondine)、鈉沸石及桿沸石(thomsonite)，而以十字沸石和水鈣沸石為主。火山角礫岩富含角礫間隙沉澱物和區域東北—西南走勢裂隙脈狀充填次生礦物；角礫間隙沉澱岩壁黏土礦物、方沸石、十字沸石、鈉沸石、斜髮沸石(clinoptilolite)和魚眼石(apophyllite)，以方沸石最豐；截切角礫岩之裂隙脈狀充填沉澱岩壁黏土礦物、鈉沸石和方沸石，以鈉沸石為主。

水鈣沸石、桿沸石、斜髮沸石和魚眼石為烏石鼻地區新發現之礦物物種，其中水鈣沸石為台灣首次發現之礦物。推測侷限氣孔充填產狀及熔岩流岩性之水鈣沸石、桿沸石和其他次生礦物為早期熔岩流低溫反應產物，次生礦物羣變化可能受水岩比影響；角礫間隙與角礫岩體方向性裂隙填充之沸石和其他次生礦物則可能為整體烏石鼻岩體冷卻及抬升過程低溫熱液作用之產物，角礫間隙與裂隙脈狀沉澱之不同次生礦物羣或可能反映差異性水岩反應之影響。

關鍵詞：海岸山脈、集塊岩、熔岩、氣孔、水鈣沸石、斜髮沸石

Keywords: Coastal Range, agglomerate, lava, amygdule, gismondine, clinoptilolite

【學生壁報比賽】

- (1) 國立成功大學地球科學系/江威德教授
- (2) 學士班三年級
- (3) 97220yowjiun@gmail.com

太魯閣帶新發現矽卡岩與鄰近變質基性岩之岩石學特徵

劉康文¹、蔡金河¹、Yoshiyuki Iizuka²

(1) 國立東華大學自然資源與環境學系碩士班地球科學組

(2) 中央研究院地球科學研究所

摘要

太魯閣帶是中央山脈東斜面一古老變質帶，此變質帶曾經歷自中生代以來的多期變質事件，是研究台灣造山帶變質歷史之關鍵區域。此變質帶以變質泥岩、變質砂岩及大理岩為主要組成，局部出露變質花岡岩、變質基性岩及少量蛇紋岩。其中，由於變質基性岩之礦物共生組合及某些礦物與其成分能反映變質條件的變化，故有必要深入研究此區之變質基性岩。然而，前人研究多數聚焦於東澳-南澳地區所出露的角閃岩體，相較之下其他的變質基性岩仍缺乏岩石學資料。本研究針對太魯閣帶和平地區之變質基性岩的產狀、岩象及礦物化學進行詳細分析。此區的變質基性岩與大理岩互層，間夾薄層的石榴子石-綠泥石-多矽白雲母片岩，片岩與基性岩間為漸變關係而無彼此截切，隱示兩者之原岩為沉積接觸。本研究於變質基性岩與大理岩之接觸部位發現少量呈塊狀之矽卡岩(skarn)，主要組成為鈣鐵輝石(hedenbergite)與鈣鋁榴石-鈣鐵榴石(grossular-andradite)，石榴子石具環帶，核部較邊部鐵含量略低，部分結晶受綠簾石、陽起石取代，此矽卡岩的發現為臺灣的首次報導。變質基性岩之礦物組成以普通角閃石-陽起石為主，少量奧長石-中長石(An13-40)中存在微量倍長石(An82-87)殘餘，角閃石邊緣被後期之細粒綠泥石與多矽白雲母取代，部分角閃石受冰長石與方解石等細脈截切。石榴子石-綠泥石-多矽白雲母片岩具礦物組成之分層，鐵鋁榴石變斑晶邊部與裂隙具環帶，鈣含量較核部略高，基質以綠泥石、多矽白雲母、中長石(An30-37)為主。綜合以上觀察，變質基性岩內的多種細脈，及石榴子石-綠泥石-多矽白雲母片岩之石榴子石環帶或與流體作用相關，而矽卡岩應為大理岩與變質基性岩間之交代換質作用所形成，隱示此處岩層經歷高溫熱液變質事件。

關鍵字：鈣鐵輝石、鈣鋁榴石、鈣鐵榴石、斜長石、交代換質

【學生壁報比賽】

- (1) 國立東華大學/蔡金河
- (2) 碩士/三年級
- (3) 610954011@gms.ndhu.edu.tw

含鋁輝石高溫晶體動力學研究及熱力學性質

Study of lattice dynamics and thermodynamics of

Al-Pyroxene at high temperature

王立儂¹、龔慧貞¹、花天享¹、王筑萱¹

Jangmi Wang¹、Jennifer Kung¹、Florian Hua¹、Tzu-Shiuan Wang¹

國立成功大學地球科學系¹

礦物物理實驗室

摘要

頑火輝石(Enstatite, $MgSiO_3$)是斜方晶系的單鍊狀矽酸鹽礦物，也是地殼與上部地函中最重要的組成礦物之一。其結構中，以矽氧四面體組成兩組平行c軸延伸的 SiO_3 單鍊為主體，鍊間則交雜出現2組八面體陽離子空間。天然頑火輝石樣品中，鋁除了是最常見的雜質之外，亦已被證實會影響頑火輝石的體彈模數(bulk modulus)、傳導性質及可含水量的高低。由於頑火輝石存於地表至深度300公里以上(即上部地函)，故這些性質都會影響該區域對於地球物理觀測的詮釋。

物質之物性，如熱傳導、彈性性質皆與其晶格振動有關。為了進一步系統性瞭解鋁離子對頑火輝石之高溫晶體動力學行為影響，本研究利用大壓力機於高溫高壓環境(2~6 GPa, 1200~1300°C)下合成7種不同含鋁量(Al_2O_3 0~17 wt%)之頑火輝石單晶，其化學成分經以EDS鑑定確認含鋁量，晶體結構經XRD分析確認高鋁成分仍保持直輝石結構(space group Pbnm)。前人之彈性性質研究(Kung et al. 2011)得知純鎂頑火輝石($MgSiO_3$)在溫度1000°C相變成高溫輝石結構(protoenstatite)時會發生聲學模軟化現象(acoustic mode softening)，為確保結果比較時所有成分皆是直輝石結構，本實驗之高溫拉曼實驗溫度以1000°C為上限。

室溫拉曼數據顯示在 $700cm^{-1}$ 以下的範圍有幾個特定振動模(134、206、343、446、及680)會隨著含鋁量增加有藍位移現象，而振動模 $660cm^{-1}$ 及輝石結構的拉曼特徵峰($1010/1030cm^{-1}$)在 Al_2O_3 高於10 wt% 呈現紅位移。以上提及振動模(ω_i)其拉曼位移隨著溫度上升而有不同程度紅位移(即 $d\omega_i/dT < 0$)。這 $d\omega_i/dT$ 數據可結合熱膨脹係數求得格呂奈森參數(Gruneisen parameter, γ)，其為討論地球物質在高溫高壓下熱力學重要物理參數，同時也能用於討

論其非諧性(anharmonicity)。本研究中我們除了呈現這系列高溫拉曼結果，同時探論成分與格呂奈森參數的關係及其物理意義。

關鍵字：直輝石、拉曼光譜儀、格呂奈森參數、非諧性

Application of Micro-X-ray Fluorescence Spectrometer and FTIR-ATR to analyze the sediment environments of fossil resins

Yen-Yu Chen, Wen-Pin Hsieh, Ying-Ju Chang, Pang, Kwan-Nang

Abstract

Different fossil resins has different inclusion. It could be fossils of ancient Animals, plants, and soil, and this study aims to analyze the soil inclusion, it could be instructed to different ancient sediment sources. Micro-X-ray Fluorescence Spectrometer can map the sample and analyze the inclusion of fossil rosins. We observed that there are different minerals in different fossil rosins like Kaolinite in Myanmar, Montmorillonite in Latvia, and Illite in Fujian.

The results show that fossil rosin contains aluminum, silicon, sulfur, calcium, and potassium in Fujian. Aluminum, silicon, calcium, potassium, and Iron in Latvia. Sulfur, calcium, potassium, and iron in Madagascar. Sulfur, potassium, calcium, Iron silicon in Dominica. Silicon, sulfur, potassium, and Iron in Myanmar.

XRF can analyze the inorganic minerals in fossil rosins and FTIR can analyze the organic hydrocarbon in the sample, combining these two techniques can know the organic and inorganic materials in sediment, it is a useful tool in the reconstruction of ancient environments.

The results show that FTIR spectra of fossil rosins contain intense aliphatic C-H stretching vibration in 2960 cm^{-1} , 2925 cm^{-1} , 2850 cm^{-1} region relative to the C-H (CH_3) scissoring vibration at 1470 cm^{-1} and C=C aromatic stretching vibration at 1640 cm^{-1} . We apply the ratio of C-H stretching (2925 cm^{-1} , 2850 cm^{-1}) and C=O stretching (1700 cm^{-1}) shows a similar ratio in the same locality of fossil resins.

Using

$$\text{OAFH}:(\text{CH}_2(\text{H})+\text{CH}_3(\text{H})))/(\text{CH}_2(\text{H})+\text{CH}_3(\text{H})+\text{CH}_3(\text{L})+\text{CH}_2(\text{L})+(\text{C}=\text{C})+(\text{C}=\text{O}))$$

$$\text{OAFO}:0(\text{C}=\text{O})/(\text{CH}_2(\text{H})+\text{CH}_3(\text{H})+\text{CH}_3(\text{L})+\text{CH}_2(\text{L})+(\text{C}=\text{C})+(\text{C}=\text{O}))$$

will have a significant result in different localities of fossil resins

In consequence, these analyses can provide a powerful tool to identify the ancient sediment environment, and they can be also used in identifying fossil resin sources and localities.

Keywords: Amber, copal, fossil resins, micro-XRF, sediment, Functional groups

以TOUGH2數值方法初探宜蘭平原南部裂隙主控型地熱概念模型

李家皓¹、宋聖榮¹

(1)國立臺灣大學地質科學系

摘要

本研究旨在評估深層地熱在宜蘭平原的潛力，並進一步建立三星至紅柴林區域地熱概念模型。目前綠能意識抬頭，地熱能源的開發技術日漸增強，宜蘭平原位處沖繩海槽張裂末端，周遭地區如清水、土場等地區皆有溫泉露頭暗示宜蘭地區的地熱潛能。前人在宜蘭地區施行多種地球物理探勘及鑽取岩芯，提出多種地質概念模型以尋求經濟之地熱開發場址。目前對於宜蘭區域的區域構造和地層特性已經有初步了解，但對於發展地熱能源之熱傳輸模型仍缺乏以數值模型支持的地熱概念模型。基於前述，本研究利用Leapfrog建立三星至紅柴林區域四公里深度範圍內的有限元素數值模型。模型驗證以數值模擬程式TOUGH2(Transport Of Unsaturated Groundwater and Heat)計算多口探勘井下熱流，模擬地熱系統的熱源和熱流體傳輸途徑，評估深層地熱在宜蘭平原的潛力，並進一步建立三星至紅柴林區域地熱概念模型。

對比前人所提出之震測資料解釋，顯示中央山脈廬山層與雪山山脈之乾溝層、四稜砂岩等地層在蘭陽溪南側被東西走向、傾角近垂直的濁水斷層分隔，三星至紅柴林區域可能存在多條南北向潛在構造。為求南北向潛在構造是否可能作為地熱流體傳輸途徑，本研究比較數值模型中加入南北向導水裂隙與否以及導水裂隙具有不同水力傳導係數下，熱流在三維空間中分布的差異以及潛在地熱儲集層的範圍變化，並與實際鑽井所獲取之溫度剖面進行對比，推測在三星至紅柴林區域的南北向構造確實可能作為地熱流體之傳輸通道。

本研究認為在三星至紅柴林區域的南北向構造，能解釋該區域熱流和溫度在東西方向上存在之不連續性及深度八百公尺至兩公里附近地溫梯度停止上升的情況。研究結果可為進一步探索利用宜蘭平原的地熱資源提供理論參考。

關鍵字：宜蘭平原南部地熱區、地熱概念模型、裂隙儲集層模擬、TOUGH2數值模擬、地溫梯度

【學生壁報比賽】參與者於摘要尾端註記

(1) 就讀學校/指導教授: 國立臺灣大學地質科學系 / 宋聖榮

(2) 學位/年級: 碩士班 / 二年級

(3) E-mail/手機號碼: lch477909@gmail.com

台灣潛在母岩對放射性核種吸附特性調查研究：

應用 ASTM 批次法探討鈷與銫的分配係數

王品丰^{1,2}、李傳斌¹、蔡世欽^{1,3}、田能全^{1,3}

¹ 國立清華大學 放射性廢棄物處置技術研發中心

² 國立清華大學 原子科學院學士班

³ 國立清華大學 原子科學技術研發中心

摘要

本研究利用 ASTM 批次吸附法，針對銫 (Cs) 與鈷 (Co) 對於台灣潛在母岩：花崗岩、硬頁岩、與泥岩之吸附行為，進行銫 (Cs) 與鈷 (Co) 在不同地質材料中的分配係數探討。由於核能的運用伴隨的是放射性廢棄物的產生，2025 非核家園即將來臨，放射性廢棄物處置場的建置將是未來我們將必要面對的重要工作；一般咸以「多重障壁」的概念，做為放射性廢棄物處置場的建築規劃原則，亦即利用天然岩層的隔離阻絕特性，配合人工的包封容器、緩衝回填材料及工程設計所形成的多重屏障系統，可以有效地使外釋而遷移的放射性核種受到隔離與阻絕的效果，藉以換取足夠的時間，使放射性廢棄物的輻射，在影響人類生活環境之前，已衰變至可忽略的程度。

從批次實驗結果顯示，泥岩對銫 (Cs) 與鈷 (Co) 的吸附率均大於花崗岩與硬頁岩。並根據 XRD 分析結果顯示，發現泥岩中含有較多的黏土礦物成分，如：高嶺石與伊利石等，相較於石英、長石、雲母的花崗岩與硬頁岩等。本研究除了應用批次吸附實驗以外，並以 X 射線繞射分析 (XRD)、X 光螢光分析 (XRF) 等固相分析技術，瞭解經吸附作用行為後，礦物相晶體結構的變化與表面元素化學狀態的訊息，進而分析瞭解吸附作用的物化行為機制。

關鍵字：吸附、銫 (Cs)、鈷 (Co)、花崗岩、硬頁岩、泥岩

國立清華大學/蔡世欽博士

原子科學院學士班/四年級

bambi2000owo@gapp.nthu.edu.tw

合成孔徑雷達干涉分析對台灣西北部地殼變形之啟示

王柏鈞¹

(1)國立臺灣大學地質科學研究所

摘要

臺灣西北部屬西部麓山帶，是弧陸碰撞運動形成的褶皺—逆衝斷層帶，有一系列的斷層與褶皺分布於此，例如新竹斷層、新城斷層、斗煥坪斷層、青草湖背斜等，其中新竹斷層與新城斷層為活動斷層，存在發生致災性地震的風險。近年對竹苗地區的地表變形研究，多數應用GPS和精密水準資料，甚少應用合成孔徑雷達干涉技術（InSAR），且將其結合幾何形貌與構造特性討論者亦少見，也較少提到斷層掩覆或延伸段與地表變形的關聯性，因此本研究旨在透過InSAR得出地表變形，分析其在空間及時間上的變化，並結合構造背景探討此區域內的變形機制。

永久散射體差分干涉法（PSInSAR）相較傳統大地測量，可獲取廣域且密集的高精度地表變形資料，以克服GPS或精密水準在研究區域內觀測點不足或分布不均的情況，本研究使用Sentinel-1衛星C波段雷達的升軌與降軌影像，時間跨度為2015年至2019年，透過ISCE與StaMPS軟體對影像以PS-InSAR處理，獲得沿視衛星方向之平均位移量與時間序列，並拆分出東西向及垂直向的平均位移量，將前述成果結合前人研究的剖面、地震資料作通盤討論。

研究區域中的青草湖背斜南段東翼，以及新城斷層與斗煥坪斷層的交會處，可觀察到相比周圍較高的位移量，且升軌與降軌位移皆呈靠近視衛星方向運動，可知二地皆以抬升變形為主導。根據前人剖面資料，青草湖背斜南段東翼的抬升變形，與盲斷層上盤位置重合，下盤則顯示沉降，由此推斷為高角度逆斷層運動所致；新城斷層南段延伸被斗煥坪斷層截斷處亦與變形位置重合，再結合地震資料，可知密集震源略偏於變形位置西北方，位於新城斷層以及斗煥坪斷層下盤，且震源機制解為帶有滑移的左移運動，由此推斷此處抬升的原因，並非密集震源的左移運動，而是新城斷層的逆斷層運動。

關鍵字：PSInSAR、地表變形、新城斷層、斗煥坪斷層、青草湖背斜

(1) 就讀學校：國立臺灣大學地質科學研究所

(2) 指導教授：胡植慶

(3) 學位：碩士

(4) 年級：4年級

(5) E-mail：swordalf17@gmail.com

Using PS-InSAR to monitor the surface deformation on critical infrastructure in SW Taiwan

Jiang, Y. W.¹, Chuang, Y. R.¹, and Lin, G. P.¹

1. *Department of Geography, National Taiwan University, Taiwan*

The Taiwan mountain belt is located in the arc-continent collision zone. Especially in South Western (SW) Taiwan, there are many N-S trending active structures due to oblique convergence between the Luzon volcanic arc of the Philippine Sea plate to the east and the Eurasian plate to the west. Geodetic observations in previous studies show that sharp velocity gradients across active faults in SW Taiwan, suggesting the presence of surface fault creep. Synthetic Aperture Radar (SAR), which is an active system that transmits an electromagnetic wave to a target and receives echo from it, has a lot of benefits such as cloud-free, day-and-night monitoring, and all-weather detection. In this study, SAR images were derived by ESA's Sentinel-1A. And 166 ascending SAR images from March 2016 to November, 2021 and 133 descending SAR images from February, 2016 to February, 2022 with coverage of SW Taiwan are used to detect surface deformation. We use the Persistent Scatterer InSAR (PS-InSAR) algorithm of StaMPS/MTI (Stanford Method for Persistent Scatterers/ Multi-Temporal InSAR) to create time series data of surface deformation and targets deformations of the critical infrastructure. The preliminary result shows the same surface deformation trending with the previous studies and we can point out the critical infrastructures near active faults.

以InSAR探討伊朗法爾斯弧鹽貫入體造成的地表形變 與構造活動

尤琇琳

國立台灣大學地質科學研究所

摘 要

伊朗札格羅斯山脈，現今全球最活躍的造山帶之一，根據GPS數據顯示，板塊聚合速率平均每年約 20 ± 2 mm。中新世早期，新特提斯洋板塊隱沒至歐亞大陸之下，新特提斯洋逐漸閉合，阿拉伯板塊與歐亞板塊碰撞造山，形成綿延超過2000公里西北—東南向的札格羅斯山脈。札格羅斯北至土耳其，南至馬克蘭，分別以安納托利亞左移斷層與阿曼線為界，由於板塊斜向碰撞的緣故，聚合速率由東南至西北遞減。

札格羅斯褶皺逆衝帶發育了眾多平行褶皺與逆衝斷層，有利於油氣儲存，使伊朗成為世界上重要的石油盛產國之一。在札格羅斯山脈最南側的法爾斯弧其褶皺發育最為發達，每一條褶皺長可達一百公里，寬約八至十公里。此區的斷層發育鮮少破裂至地表，絕大多數都以盲斷層的形勢發生錯動，並且地震好發於海拔1250公尺以下的簡單褶皺帶。

值得注意的一點是此區的鹽貫入體構造分布極為廣泛，軟弱鹽層與上覆地層間的滑動、鹽體受壓與密度改變形成的上衝行為都會使上覆地層受到強制褶皺，乃至破裂並發育斷層。法爾斯地區的何莫茲鹽系列也被認為是法爾斯弧向南擴展的因素之一，由於法爾斯東西側均存在構造邊界，橫向發展受到限制，並且考慮到伊朗高原海拔超過2000公尺，存在重力勢能，軟弱的地層的存在有利於重力傳播，使法爾斯弧逐漸向南彎曲。

本研究以法爾斯弧東南角為例，藉由合成孔徑雷達技術監測地表變形，並同時透過地震資料、時間序列數據分析構造的變形速率，藉此該區分析鹽貫入體的變形特性與褶皺的關聯。

【學生壁報比賽】

- (1) 國立台灣大學/胡植慶博士
- (2) 碩士/三年級
- (3) sel950047@gmail.com

運用永久散射體雷達干涉技術研究中亞扎瓦赫季地區 的大陸地殼變形

林筠庭¹、胡植慶¹

(1) 國立臺灣大學地質科學系

摘 要

高加索山脈是阿爾卑斯—喜馬拉雅造山系統中的一部份，由阿拉伯板塊向北移動，與歐亞大陸板塊碰撞生成。其可再分成大高加索山脈 (Greater Caucasus) 及小高加索山脈 (Lesser Caucasus)，兩山脈於蘇拉姆山脈相連後平行伸延，平均相距100公里。現今兩板塊的碰撞速率約為 20-30 mm/yr，因受到阿拉伯板塊向北擠壓，此處的地形相對高聳且崎嶇，並伴隨許多與大陸碰撞有關的地震和第四紀火山。

本研究運用永久散射體雷達干涉技術 (PSInSAR) 針對坐落在小高加索山脈的扎瓦赫季地區 (Javakheti highland) 的大陸地殼變形進行觀測。通過分析2019年1月至2020年1月期間的 13幅升軌以及 15幅降軌之Sentinel-1A/B衛星影像，以 ISCE/StaMPS 軟體計算出PSInSAR變形速率場。結果顯示，研究區域大致呈南-北走向，山脊西側觀測到垂直向速度為 5mm/yr，水平向速度為 -4mm/yr；山脊中間觀測到垂直向速度為 10mm/yr，水平向速度為 -8mm/yr；山脊東側觀測到垂直向速度為 -11mm/yr，水平向速度為 -3mm/yr；以及山脊南側觀測到垂直向速度為 16mm/yr，水平向速度為 10mm/yr。

在研究期間，此地區沒有發生明顯的地震事件，研究結果顯示研究區域仍存在著明顯的地表變形，這對該地區的地震災害防治和地質災害預防提出了重要挑戰。因此，進一步研究研究區域的地震地貌特徵和地震活動等，對了解該區域地震災害風險和地質災害的預防措施制定具有重要意義。

(1) 國立臺灣大學/胡植慶

(2) 碩士班/二年級

(3) r10224205@ntu.edu.tw

應用衛星影像監測 2021 年日本海底火山福德岡之場浮石漂流至台灣沿海情形陳虹瑄¹、吳善薇^{1*}¹ 中國文化大學理學院地質學系

*wsw2@ulive.pccu.edu.tw

摘要

在 2021 年 8 月 13 日有一座日本海底火山噴發，此海底火山為福德岡之場 (Fukutoko-Oka-No-Ba)，位在南硫磺島東北方大約 5 公里處，為太平洋板塊隱沒至菲律賓海板塊所形成的伊豆-小笠原-馬里亞納島弧系統中的火山，過去曾在 1904-1905 年、1914 年、1986 年、2010 年皆發生較大規模的噴發活動，此次事件所產生的浮石隨著洋流擴散至周圍國家，最先抵達台灣東部之後再隨著黑潮洋流往北擴散，因此本研究透過衛星影像來瞭解台灣沿海各地浮石漂流位置，並針對核電廠和漁船港口進行監測。研究資料應用雷達衛星不受天氣變化影響的優點，解決光學影像有雲層覆蓋的問題，研究方法則是應用衛星主動發射雷達波段至地表，應用雷達波對物體反向散射不同的特性來監測北部沿海浮石漂流的位置，監測到的 SAR 影像每一個解析單元反應出物體向雷達反向散射的振幅結果，初步研究顯示在 2021 年 12 月 10 日北部外海有顯示出較為明亮的白色像素，與周圍海面所顯示出來的黑色像素呈明顯對比，表示很有可能是某種物體出現所產生的不同反向散射結果，而海洋委員會調查顯示在 2021 年 12 月 11 日新北龍洞外 0.6 浬、新北南雅外 1 浬、新北三貂角南方 41 浬，和 2021 年 12 月 12 日基隆彭佳嶼南方 16 浬、新北燭台嶼北方 0.8 浬、新北野柳北方 1.9 浬確實有發現浮石的蹤跡，因此 2021 年 12 月 10 日這天北部外海所監測到的物體很有可能是浮石，透過這次 2021 年日本福德岡之場的浮石事件，警惕我們未來有同樣事件發生時，如何針對這些沿海重要設施做防範應變，而透過衛星影像短時間重返地點監測、雷達衛星不受天氣變化的影響以及物體反向散射不同的特性，可以快速掌握台灣外海周圍福石漂流的情形，顯示衛星影像適合用來監測周遭環境變化。

關鍵字: 浮石、福德岡之場、雷達衛星影像、反向散射、黑潮洋流

就讀學校:中國文化大學/指導教授:吳善薇

學位:大學部/年級:四年級

E-mail:sariel891207@gmail.com

Stalagmite-inferred paleoclimate records during 36-25 thousand years ago in the eastern tropical Indian Ocean

Yi-Zeng Lin¹, Chuan-Chou Shen^{1,2}, Shou-Yeh Gong³, Jean-Paul A. Hobbs⁴

¹High-Precision Mass Spectrometry and Environment Change Laboratory (HISPEC), Department of Geosciences, National Taiwan University, Taipei, Taiwan ROC

²Research Center for Future Earth, National Taiwan University, Taiwan, ROC

³Department of Geology, National Museum of Natural Science, Taichung 40419, Taiwan, ROC

⁴School of Biological Sciences, University of Queensland, Brisbane 4072, Queensland, Australia

Abstract

Indian Ocean Dipole (IOD) oscillation affect the hydroclimatic condition in the Pan-Indian Ocean territory, especially precipitation in the eastern tropical Indian Ocean realm, on annual-decadal scales, even the variation of Inter Tropical Convergence Zone (ITCZ) is the dominant factor over the orbital scale. However, the effects of IOD and ITCZ on the regional precipitation on centennial-millennial scale in the glacial time is obscure. Here we present the replicate stalagmite $\delta^{18}\text{O}$ records at 36-25 ka, anchored with 30 U-Th ages, from Upper Daniel Roux Cave from Christmas Island (10°44'S, 105°66'E), eastern Indian Ocean, to provide a multidecadal-to-centennial-resolved precipitation evolution. This record shows a sharp decreasing from -3‰ at 37.0 ka to -5‰ at 35.2 ka and keep this plateau of -5‰ until a sharp increase to -3.7‰ at 34.2 ka. It then decreases from -3.0‰ at 33.8 ka to -5.1‰ at 32.5 ka, followed by stable values hovering around -5 to -4‰ from 32.5 to 29.3 ka, an abrupt increase to -3‰ during 29.3 -26.3 ka with a ^{18}O -depletion 400-yr peak centered at 28.0 ka, and a final ^{18}O -depletion shift from 2.8‰ at 26.3 ka to 4.5‰ at 25.6 ka. Two intervals with relatively high precipitation ($\delta^{18}\text{O}$: -5‰) is observed at 35.8-34.2 ka and 28.1-27.6 ka, and three drought intervals ($\delta^{18}\text{O}$: -3‰) at 34.1-33.5, 28.7-28.1 and 26.8-26.1 ka. The stalagmite $\delta^{18}\text{O}$ -inferred precipitation-variation shows a general millennial-scale anti-phase symmetrical relationship of this southern tropical ITCZ sector with the planktonic foraminiferal proxy-inferred seawater $\delta^{18}\text{O}$ records of marine sediment cores SO189-119KL (3°31'N) and SO189-39KL (0°47'N)(Mohtadi et al., 2014), located in the northern sector of the eastern equatorial Indian Ocean, off Sumatra Island. This general anti-phase concurrency suggests that the eastern Indian Ocean millennial precipitation change in the last glacial time is mainly controlled by ITCZ shift, instead of IOD variability, on sub-orbital scale. **Keywords:** Stalagmite, eastern tropical Indian Ocean, ITCZ, IOD

(1) 就讀學校/指導教授: 國立台灣大學地質科學系/ 沈川洲

(2) 學位/年級: 碩士/ 4 年級

(3) E-mail/手機號碼: r08224114@ntu.edu.tw

重新解析西太平洋海底電磁儀資料並
建構西太平洋岩石圈與軟流圈電導率構造

**Re-visit seafloor magnetotelluric data and image electrical
conductivity structure in the west Pacific**

Chen-Hsiang Hung¹, Pei-Ying Patty Lin¹, Kiyoshi Baba², and Hisashi Utada²

(1) Department of Earth Sciences, National Taiwan Normal University, Taipei, Taiwan

(2) Earthquake Research Institute, The University of Tokyo, Tokyo, Japan

Abstract

The slabs often undergo dehydration as they subduct into the Earth's mantle. The water and volatiles that are released and migrate through the mantle, and often affect the properties of the rock, such as seismic velocity and electrical conductivity. Previous seismic tomography studies show that the Pacific Plate subducts beneath the Philippine Sea Plate with a deep mantle slab stagnating in the transition zone and the surrounding mantle. Seafloor electromagnetic field observations recorded by ocean bottom electrometers (OBEMs) enable us to utilize the electrical conductivity structure of the upper mantle in the ocean region. In this study, we analyzed the seafloor magnetotelluric (MT) data recorded from OBEMs deployed on the Philippine Sea Plate and the Pacific Plate. We aim to obtain the local electrical conductivity models beneath each site to provide critical constraints on the melting or water content in the upper mantle above the deep stagnant slab. In order to obtain accurate MT responses, we applied both standard and generalized remote reference techniques using on-land geomagnetic stations as the reference sites. The updated MT responses are combining the MT responses from both methods based on the coherences. In order to represent 1-D response for this region as a reference, we calculated the arithmetic mean of the squared root of the determinant and the geometric mean of the squared root of the sum of squared. In this work, we also investigated (1) the surface 3-D effect and (2) the sensitivity to the conductivity of the marine sediment and lithospheric mantle during the inversion schemes. The preliminary

inversion results show that the variations of the conductivity structure between each site on the Philippine Sea Plate are more obvious than those on the Pacific Plate. We'll show the local conductivity models and discuss their robustness from our inversion schemes.

【學生壁報比賽】

- (1) 就讀學校/指導教授: 國立臺灣師範大學 林佩瑩
- (2) 學位/年級: 碩士 一年級
- (3) E-mail/手機號碼: alex88universe@gmail.com

利用福爾摩沙陣列探討臺北都會區之微震特性

郭濬丞¹、陳卉瑄¹、林正洪^{2,3,4}、賴雅娟^{3,4}、史旻弘^{2,4}

(1)國立臺灣師範大學地球科學研究所、(2)中央研究院地球科學所、(3)財團法人國家實驗研究院
國家地震工程研究中心、(4)科技部大屯火山觀測站

摘要

本研究利用由中研院地球所林正洪老師團隊佈設和維持的福爾摩沙陣列 (Formosa Array, 簡稱FA), 在台北都會區共 114 測站於2019年的連續資料, 我們首先在時頻圖中發現較強信號發生在 2-20 Hz、0.25-1 Hz 和 < 0.2 Hz 這三個頻率段, 對應到 microtremor、secondary microseism (簡稱SMS) 和 primary microseism (簡稱PMS) 三個種類。利用一整年的資料計算每日中位數和每日最大振幅後, 進行各測站的振動趨勢比較, 我們發現 primary microseism (< 0.25 Hz) 與 secondary microseism (0.25 Hz - 1 Hz) 在不同測站的表現有驚人的「時間同步」之特徵, 說明對應之振動源發生的空間範圍相對寬廣, 影響著所有測站在低頻段 (< 1 Hz) 的振動表現。而 PMS 和 SMS 的重複特性在振幅中位數和最大值之表現並不同: 振幅中位數呈現的時間趨勢具有 6-10 天的重複性, 而最大值則較短約 3 天, 說明決定背景振動和瞬間最大振幅時間規律性的機制, 可能不同。為了進一步釐清可能的控制因子, 我們將 FA 測站的連續振動紀錄與氣象/潮汐數據間之交相關係數計算, 發現振幅最大值與陣風和區域地震 (100km ~1000 km) 有關, 此外, 颱風也明顯影響微震之最大振幅的表現。但振幅中位數記錄則與氣壓具有較高之相關性, 而非潮位起伏, 這說明大氣和海洋的耦合現象對微震的發生扮演重要角色, 如何分辨各自的影響力以至於將微震的時空特徵應用至判斷、偵測環境訊號, 有待未來進一步的探究。

【學生壁報比賽】

- (1) 國立臺灣師範大學地球科學系/陳卉瑄
- (2) 碩士班/二年級
- (3) gordon.kcc.1999@gmail.com

利用重力資料與速度模型探討宜蘭平原的地下密度構造和

地熱資源潛力

楊偲琦、羅祐宗、顏宏元
國立中央大學地球科學學系

摘要

宜蘭平原位於沖繩海槽弧後擴張的最西端。過去的磁力研究曾發現平原下方存在高磁性物質，而且鄰近的龜山島有岩漿庫，因此可能蘊藏豐富的地熱資源。本研究針對宜蘭平原存在的第四紀沉積層所造成的長波長負重力異常，根據震測資料推算之基盤深度推算其重力效應並進行消除，接著使用陸上重力資料進行重力濾波分析，以探討淺層密度構造。並且使用宜蘭平原之速度模型 (Su et al., 2019) 作為初始模型進行逆推，得到宜蘭地區 10 公里深度的密度模型。研究結果顯示，重力異常值分布與斷層構造線呈現高度相關。此外，重力異常分析及密度模型顯示平原下方存在高重力異常及高密度值分布，可能是由火成物質侵入造成地層拱起所致，進而顯示潛在的地熱資源。

【學生壁報比賽】

- (1) 就讀學校：國立中央大學/ 指導教授：顏宏元教授
- (2) 學位：學士/ 年級：地球科學學系四年級
- (3) E-mail：yangsc21edu@gmail.com

A regional earthquake early warning system through a convolution neural network, the transformer, and mixture density network

Chieh-Chen Chang¹, Chung-Han Chan^{1, 2}, Kuo-Fong Ma^{2, 3}

1. Department of Earth Science, National Central University

2. Earthquake-Disaster & Risk Evaluation and Management (E-DREaM)

3. Institute of Earth Sciences, Academia Sinica

Abstract

In this study, we developed a regional earthquake early warning (EEW) system based on the transformer earthquake alerting model (TEAM, Münchmeyer et al., 2021), a deep learning framework. The dataset was contributed by the TSMIP records, including 18143 events during 1992-2020. We implemented most dataset for model training and validation, expect that in 2018 for model validation. Three components (NS, EW, vertical) seismic traces, masked after the arrival of P-wave 3-10 seconds randomly and station locations were considered for model training. Our EEW model comprises three parts. First, the convolution neural network (CNN) extracts waveform features from the training dataset. Second, the transformer model, an attention-based neural network, identifies the relationship between waveforms and station locations. Last, the mixture density network, composed of multiple Gaussian distributions fit by the maximum log-likelihood method, produces a probability density distribution. Based on the procedure, we calculated the mean of the mixture density model for each waveform from the test dataset to evaluate our model performance. Considering 3 seconds after the first triggering as a warning time stamp and the CWB intensity 4 as a warning threshold, the accuracy, precision, recall and F1-score can up to 89.4%, 83.6%, 52.6%, and 64.4%, respectively. Notably, the prediction could be more precise with a longer input time window. Our model could provide not only acceptable precision but also longer warning time period. In addition, the model architecture could be applied to any seismic network that obtains sufficient observations to establish an efficient EEW system.

Please note the information in the bottom of abstract if you choose to attend to “the Students’ Poster Competition”.

(1) University/Advisor

National Central University/ Chung-Han Chan

(2) Degree/Grade

Master/ First year

(3) E-mail/Cell phone number

jason032089@gmail.com

An attempt on the scalable distributed streaming processing model for real-time seismology applications based on Kafka, Spark, and NVIDIA Triton Inference Server

Wu-Yu Liao¹、En-Jui Lee¹

(1) Department of Earth Science, National Cheng-Kung University, Taiwan

Abstract

In the past few years, real-time seismology has been facing challenges in growing data volume and software engineering in seamlessly chaining algorithms, which mainly refers to machine learning algorithms that could have various forms of model input and output. Integrating machine learning algorithms into routine seismogram processing software like SeisComp3 and Earthworm could cost lots of developing time due to the strict definition of variables inside the programs. Moreover, the massive data may require more machines in the local cluster to process, which could also be risky upon node failures. In this study, we introduce a scalable distributed streaming processing model for real-time seismology as an alternative for more flexibility in data manipulation. The ETL (extract, transform, load) pipeline is built on top of Kafka and Spark, which are both scalable and distributed. Kafka allows fault-tolerant data packet transmission from TCP (transmission control protocol) sources like Seedlink. Spark structured streaming allows in-memory transformation of data packets from Kafka sources, such as grouping and merging the waveforms of each station. The collected waveform can then be sent to any programs and algorithms hosted in NVIDIA Triton Inference Server in a pre-defined order using specified CPUs and GPUs. The model inference results can be broadcasted to Kafka for other end users. For example, we can deploy a deep-learning-based real-time seismic phase picker (RED-PAN), making inferences per second, and then send the seismic phase information for other earthquake early warning algorithms or queue the results for earthquake location.

(1) University/Advisor: National Cheng-Kung University/En-Jui Lee

(2) Degree/Grade: Ph.D. student, 3rd year

(3) E-mail/Cell phone number: tso1257771@gmail.com

Application of machine learning framework on determining ground motion prediction equation (GMPE) for Taiwan

Authors: Chih-Yu Chang ,Jia-Cian Gao ,Chung-Han Chan.

Our study established a set of AI-based GMPEs based on Support Vector Regression, Random Forest Regression, Gradient Boosting Regression, and XGBoost Regression. To validate the credibility of our approach, we accessed strong-motion records from the Taiwan Strong-Motion Instrumentation Program (as known as 'TSMIP') network and built GMPEs for crustal earthquakes in Taiwan. In our application, we found that our GMPEs underestimated the ground shakings for large events due to insufficient observations. We addressed the issue of imbalanced dataset by implementing various techniques such as GAN, SMOTR, and Gaussian noise methods to generate artificial data for training. As a result, our dataset became more balanced, particularly in the scarce areas, which enabled the machine to learn the scarce parts better and thus improved the performance of the GMPEs. We compared the performance of these methods and selected the best synthetic method for our dataset. We tried to predict strong ground-motion in various units, including peak ground acceleration (PGA), peak ground velocity (PGV), and various periods of spectral acceleration (SA). We used SHAP value to identify the importance of each feature component to select features included into the model. Our study sheds light on developing GMPEs via machine learning, beneficial to subsequent seismic hazard assessment in Taiwan.

以石英粉末輔助合成石墨包裹矽奈米顆粒之研究

楊智淵、鄧茂華

國立台灣大學地質科學系

摘要

石墨包裹矽奈米顆粒(Graphite encapsulated silicon nanoparticles, GES)是一種具有核-殼結構的奈米複合材料，其內部核心由矽與碳化矽多晶組成，外殼則由石墨片或非晶質碳組成。先前研究中，以X光繞射分析 (XRD)發現採用矽與碳作為原料合成之GES產物中含過多碳化矽，因而降低GES在電性方面的表現。本研究利用石英粉末限制碳與矽間的反應，有效降低碳化矽在產物中比例，而同時增加矽之比例。XRD結果顯示石英粉末在限制碳化矽生成方面具有相當出色的效果，而且產量也提升近十倍以上。掃描式電子顯微鏡 (SEM)顯示GES之外形大多為球狀和棒狀，只有少數以不規則形狀呈現。穿透式電子顯微鏡 (TEM)揭示大多數GES有明顯的核-殼結構，在內核部分可見多晶排列。熱重分析 (TGA)顯示GES的碳層約莫在150°C開始氧化形成碳氧化物，當溫度到達約400°C時，內部矽核心開始氧化形成二氧化矽。雖然詳細反應機制尚未釐清，但根據初步實驗結果來看，石英粉末為目前最有效之原料來限制碳化矽生成，並有助於提高GES產量。

【學生壁報比賽】參與者於摘要尾端註記

- (1) 就讀學校：國立台灣大學地質科學系/指導教授：鄧茂華博士
- (2) 學位：碩士/年級：二年級
- (3) E-mail：R10224103@ntu.edu.tw

Making the Invisible Visible: Evaluation of Inter-catchment Groundwater Flow Using Deterministic and Stochastic Method

Hsin-Yu Chen*、Hsin-Fu Yeh

Department of Resources Engineering, National Cheng Kung University,
Tainan

Abstract

The hydrological model, often known as the closed model, typically assumes that there is no groundwater exchange at the boundaries between catchments. Yet, this assumption is rarely satisfied. To assess inter-catchment groundwater flow (IGF), five adjacent catchments in Taiwan's Choshui River Basin were chosen as the study area. The Generalized Likelihood Uncertainty Estimation (GLUE) method and the Shuffled Complex Evolution - University of Arizona (SCE-UA) optimization algorithm were combined in the open lumped rainfall-runoff model to assess groundwater exchange from the stochastic and deterministic perspectives, respectively. To understand whether each catchment was in a gaining, leaking, or isolating state, the open rainfall-runoff model's groundwater exchange parameter (x_g) and the effective catchment index (ECI) were utilized simultaneously. For instance, groundwater was received by the Nei-Mao-Pu catchment. The deterministic method estimated the change of IGF over time, and the results showed that the performance of open rainfall-runoff model was superior to the closed model. The stochastic method estimated the possible intervals of IGF at each time step. In addition, the proportion of IGF to the rainfall was larger in the dry season than in the wet season. This study suggested that groundwater exchange plays a significant role in the hydrological cycle. This study is expected to advance our scientific knowledge of groundwater and contribute to the sustainable groundwater development.

Please note the information in the bottom of abstract if you choose to attend to “the Students’ Poster Competition”.

- (1) National Cheng Kung University / Advisor: Hsin-Fu Yeh**
- (2) master degree / the second grade**
- (3) csinyum3@gmail.com***

以砂箱實驗驗證主動式加熱光纖法應用於土壤蒸發散量推估之可行性

吳承翰¹、邱永嘉^{2*}

¹國立臺灣海洋大學地球科學研究所碩士生(roywu990412@gmail.com)

^{2*}國立臺灣海洋大學地球科學研究所教授 (通訊作者信箱: ycchiu@mail.ntou.edu.tw)

摘 要

隨著大量的都市開發及極端氣候頻繁出現，蒸發散產生劇烈的變化，對於環境溫度與可用水資源產生一定程度的影響，讓都市地區的熱島效應以及乾旱地區的水資源缺乏愈發嚴重，有效且準確的蒸發散量測能為熱島效應的衝擊減緩及極端地區的水資源管理提供許多參考資訊。現有的蒸發散量測方法雖然能夠獲得準確的數值，但多數需要使用昂貴的儀器和繁瑣的參數收集與操作，進一步加大了人力和資金成本的負擔，而這些因素限制了大範圍量測的能力。因此，一種全新、快速、低成本的量測方法有其必要性，以便能夠在現地環境中進行廣泛且準確的蒸發散量測。近年來，主動式加熱光纖法 (active heating fiber optic, AHFO) 廣泛應用於水文特徵的量測判讀，除用於推估水體流動和土壤熱特性外，還可用於土壤含水量的測量。AHFO 結合分散式溫度感測器 (distributed temperature sensor, DTS) 與複合式加熱銅線的光纖，透過含水量多寡對於加熱溫差之敏感度獲得高精度的含水量分佈，進而推估蒸發散在時空上的變化。本研究透過砂箱實驗探討以AHFO方法推估蒸發散之可行性。為獲得詳細的垂直方向溫度資訊，將光纖以不同的半徑與材質進行纏繞測試，以確認對解析度的提升程度及量測差異的影響。測試結果顯示，纏繞光纖可將原本DTS的解析度從0.127m大幅提升至約0.003m，提供垂直方向上高解析度的土壤溫度分佈資料。利用高解析度的土壤溫度資料，建立溫度變化與含水量之經驗公式，以獲取詳細的含水量剖面。推估結果顯示，推估值與實際量測值間的均方根誤差介於0.023-0.045，具有良好的效果。為進一步驗證特定蒸發速率對含水量變化之影響，將已知的蒸發散量作為邊界條件，使用數值模擬軟體HYDRUS-1D進行未飽和的水-熱耦合模擬，模式所得含水量與實際量測值有很高的一致性，均方根誤差僅介於0.017-0.025。透過本研究砂箱實驗與數值模擬所建立一系列的量測與推估方式，驗證AHFO不僅可獲得時空上連續性的含水量資料，並同時推估蒸發散。在經費跟人力有限的情況下，以此較低成本且準確有效率的方式，可針對現地進行大範圍量測，為蒸發散的現地量測工作提供一個全新的契機，對於環境整治與水資源管理更具有實用性和參考價值。

關鍵詞：蒸發散、含水量、主動式加熱光纖法、砂箱實驗、數值模擬。

(1) 就讀學校:國立臺灣海洋大學/指導教授:邱永嘉

(2) 學位:地球科學研究所碩士/年級:二

(3) E-mail: roywu990412@gmail.com

氣體在非飽和孔隙介質的傳輸：以毛細管為例

詹凱翔¹、許少瑜¹、黃群展¹

(1) 國立台灣大學生物環境系統工程學系

摘要

部分生態水文分離研究指出，植物只會吸收到特定降雨事件較早的水份。土壤中同時存在分離的新水跟舊水。分離原因可能來自於的空氣阻隔。然而孔隙介質的水分存在蒸發與凝結的相變過程。因此，本研究想透過實驗證明即使在空氣阻隔下，新舊水還是能透過相變混合。本研究利用以二氧化碳類比水蒸氣，根據pH染劑之溶液顏色變化推估，二氧化碳擴散的行為。透過設置不同初始邊界二氧化碳氣相濃度、溶液段與空氣段長度，提出因氣體相變混合的可能趨勢。理論模式以Fick law為主控方程式，在邊界傳輸部分考慮亨利定律與化學反應速率，搭配影相分析後的實驗紀錄結果進行比較與修正，並提出可能的限制因子。

【學生壁報比賽】參與者於摘要尾端註記

(1)國立台灣大學 指導教授：許少瑜教授

(2)碩士生二年級

(3)E-mail：kevin90836@gmail.com r10622026@ntu.edu.tw

Comprehensive Evaluation of Land Subsidence in Choushui River Fluvial Plain Utilizing SBAS-PSInSAR Technique

Thai-Vinh-Truong, Nguyen⁽¹⁾, Chuen-Fa, Ni⁽¹⁾

⁽¹⁾Graduate Institute of Applied Geology, National Central University, Taoyuan City, Taiwan

Abstract

Land subsidence, resulting from natural phenomena like tectonic movements, soil compaction, and human activities such as groundwater withdrawal, mining, and construction, is a pressing environmental concern. Groundwater extraction is the main global contributor to subsidence, which can cause unforeseen infrastructure damage and substantial financial costs for governments. The Choushui River Fluvial Plain (CRFP) in central Taiwan, an essential agricultural region containing a section of the Taiwan High-speed Rail (THSR), experiences land subsidence due to excessive groundwater pumping. To mitigate the impacts on civilian life and public transportation, it is crucial for local authorities to monitor and comprehend land subsidence patterns in the CRFP.

This study employed a combination of techniques, including Interferometric SAR (InSAR), GPS, and leveling survey, to evaluate surface deformation in the CRFP between 2016 and 2022. The SBAS-PSInSAR method was applied to process numerous Sentinel-1 SAR images, with the outcomes calibrated and validated using GPS and leveling survey records. The investigation identified three previously undetectable subsidence bowls in the northern region and a substantial subsidence funnel near the THSR railway in the southern area, exhibiting a sinking rate of up to -60 mm/year.

The study also uncovered increased sinking velocities during the 2020-2021 period, emphasizing the intricacy of subsidence patterns in the CRFP. The results provide crucial information for local authorities and researchers to better understand the dynamics of subsidence in the CRFP, allowing for the development of effective strategies to manage groundwater extraction and industrial activities in the region. Moreover, the SBAS-PSInSAR method demonstrated its effectiveness in monitoring land subsidence, offering valuable insights for decision-making regarding sustainable water management strategies and infrastructure planning.

Keywords land subsidence, groundwater extraction, Choushui River Fluvial Plain (CRFP), SBAS-PSInSAR, surface deformation

應用數值模擬方法訂定臺北盆地地下水管理水位

簡佑安¹、王士榮²、陳德輝³

(1) 國立中央大學應用地質研究所碩士生、(2) 國立中央大學應用地質研究所、地球科學系助理教授、(3) 國立中央大學應用地質研究所博士生

摘要

地下水為臺北盆地早期重要供水來源之一，然而大量抽取地下水造成了地下水位逐年下降，進而導致嚴重的地層下陷問題。自民國57年開始，地下水管制措施之推動使得地下水位上升且下陷情況減緩，然而，過高的地下水位將使工程施工成本增加並增加施工風險，且可能提高土壤液化潛勢。為了充份利用地下水資源與避免工程設施之風險，評估合理地下水管理水位仍是重要議題。本研究冀望在不引起顯著地層下陷情況下，訂定臺北盆地合理的地下水管理水位，其既能降低工程問題亦有效地規劃地下水資源之永續利用。

臺北盆地由古新店溪、大漢溪、基隆河堆積而成，沉積層分布呈現相當大的空間變異性，而建立適當的地質模型為數值模式之基礎。本研究彙整鑽探品質較佳之地質鑽探資料，將臺北盆地內第四紀地層，依照水文地質特性劃分為較低透水性之松山層以及其下方由透水性較佳之礫石、砂組成之主要含水層；之後應用馬可夫鏈與地質統計方法，建立松山層之異質性水文地質模型；而後挑選具長期觀測區間之地下水位、河川水位與降雨量資料，將水文觀測資料結合水文地質模型，透過地下水模擬系統（Groundwater Modeling System, GMS）中的MODFLOW模組，建立臺北盆地地下水數值模式並進行穩態模式率定，以得到符合現地狀況之水文地質參數空間分布，並獲得穩態地下水流場分布。後續將假定抽水情境進行地層下陷模式建置與模擬分析，比較不同條件下之地層下陷敏感度，用以評估合理的地下水管理水位；最後依據訂定之管理水位，進行地下水合理抽水量之時間與空間推估，研究成果將提供臺北盆地地下水資源管理之參考，使現有地下水資源得以妥善運用。

【學生壁報比賽】參與者於摘要尾端註記

- (1) 就讀學校/指導教授: 國立中央大學 / 王士榮
- (2) 學位/年級: 碩士 / 二年級
- (3) E-mail/手機號碼: annie19990901@gmail.com

Coseismic Deformation of 2022 Guanshan and Chihshang earthquakes recovered by strong motion records

Chris Ding-Jyun Lin¹, Hsin-Hua Huang^{1,2}, Yih-Min Wu^{2,1}, and Hsin Tung²

1 Department of Geosciences, National Taiwan University, Taipei, Taiwan

2 Institute of Earth Sciences, Academia Sinica, Taipei, Taiwan

Abstract

On September 17th and 18th in 2022, two strong earthquakes with magnitude 6.6 and 6.8 occurred in Guanshan and Chihshang in the eastern Taiwan. Several buildings and a bridge collapsed during the earthquakes. To help the preparation of seismic hazards and to gain further understanding of complex tectonics along the plate boundary, coseismic deformation from seismic records during the two earthquakes are provided as the supplement of high-rate GPS data in this study. The seismic records are from the Taiwan Strong motion Instrumentation Program (TSMIP) and P-Alert networks. The stations with available strong motion records ($PGA \geq 50$ gal in the 50 seconds after P-wave arrival) around the south-east Taiwan are used. The recovered coseismic deformation from strong motion data shows a good agreement with that from the GNSS data not only in general movement directions but also comparable amplitudes with nearby GNSS and strong motion stations. Moreover, adding strong-motion data fill the instrumental gap of GNSS network in the northern hanging wall of the Chihshang earthquake, revealing more detailed surface deformation features for further investigations.

Please note the information in the bottom of abstract if you choose to attend to “the Students’ Poster Competition”.

(1) University: National Taiwan University / Advisor: Hsin-Hua Huang

(2) Degree/Grade: Ph.D. student / 1st year

(3) E-mail/Cell phone number: D11224004@ntu.edu.tw

Probing temporal variation of suspended load to bedload ratio using seismic saltation model

Chao-Ting Meng¹, Wei-An Chao^{1,2}, Yu-Shiu Chen³

¹Department of Civil Engineering, National Yang Ming Chiao Tung University, Hsinchu 300, Taiwan.

²Disaster Prevention and Water Environment Research Center, National Yang-Ming Chiao Tung University, Hsinchu 300, Taiwan

³Disaster Prevention Research Center, National Cheng-Kung University, Tainan 701, Taiwan

Abstract

The temporal and spatial variation of sediment load is an important indicator for assessing the lifespan of a reservoir, especially the information on bedload transport. The bedload flux usually can be estimated by an operational fixed proportion of suspended load ($Q_s:Q_b=7:3, 9:1$). Our study chose the DaPu Dam (location: 23.296500°N , 120.644611°E). (Figure 1.a-b) The DaPu Dam is the last check dam before entering the reservoir area. Combining survey data on river bed cross-sections, sediment particle sizes, monitoring data of water level, suspended load and time-lapse images (Figure 2), our study applies a seismic saltation model to estimate the bedload flux and compares the results with the measured suspended load. Results revealed that the proportion relationship between bedload and suspended load varied with time and changes in river parameters under the Typhoon Lupit period. (Table 1) During the Typhoon Lupit flooding event, the flow Q_w : $71.73 \sim 1696.48\text{cms}$, the water depth H : $0.6761\sim 5.52\text{m}$, and the river width W : $35.6761 \sim 40.52\text{m}$, indicating a large event. Significant temporal changes in the ratio between Q_b and Q_s which is ranging from $0.0417\sim 0.428$ can also be observed (Table 1). During the peak discharge of $1,696.48\text{ cms}$, a ratio of Q_b to Q_s is 0.25 , and theoretical PSD curve can interpret the PSD observation well. (Figure 3.c) The temporal changes in sediment ratio obtained in this study can be applied to estimate the total volume of sediment load entering the reservoir. Our estimated results are consistent with the survey of sediment accumulation at the end of each year in the reservoir area.

Key words: bedload flux, suspended load, Da-Pu Dam, seismic saltation model

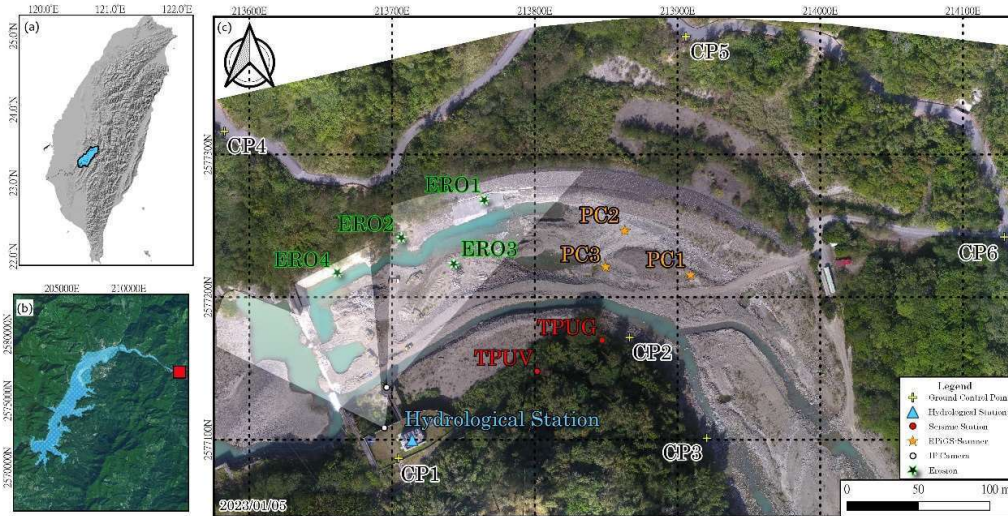


Figure 1 (a) Upstream watershed of the Zeng-Wen River. (b) Locations of the ZengWen Reservoir and the DaPu Dam. (c) Orthophoto of the study site. CP denotes ground control points in the orthophoto, white circles represent IP cameras and orange asterisks denote the RPiGs-Scanner used for particle size analysis

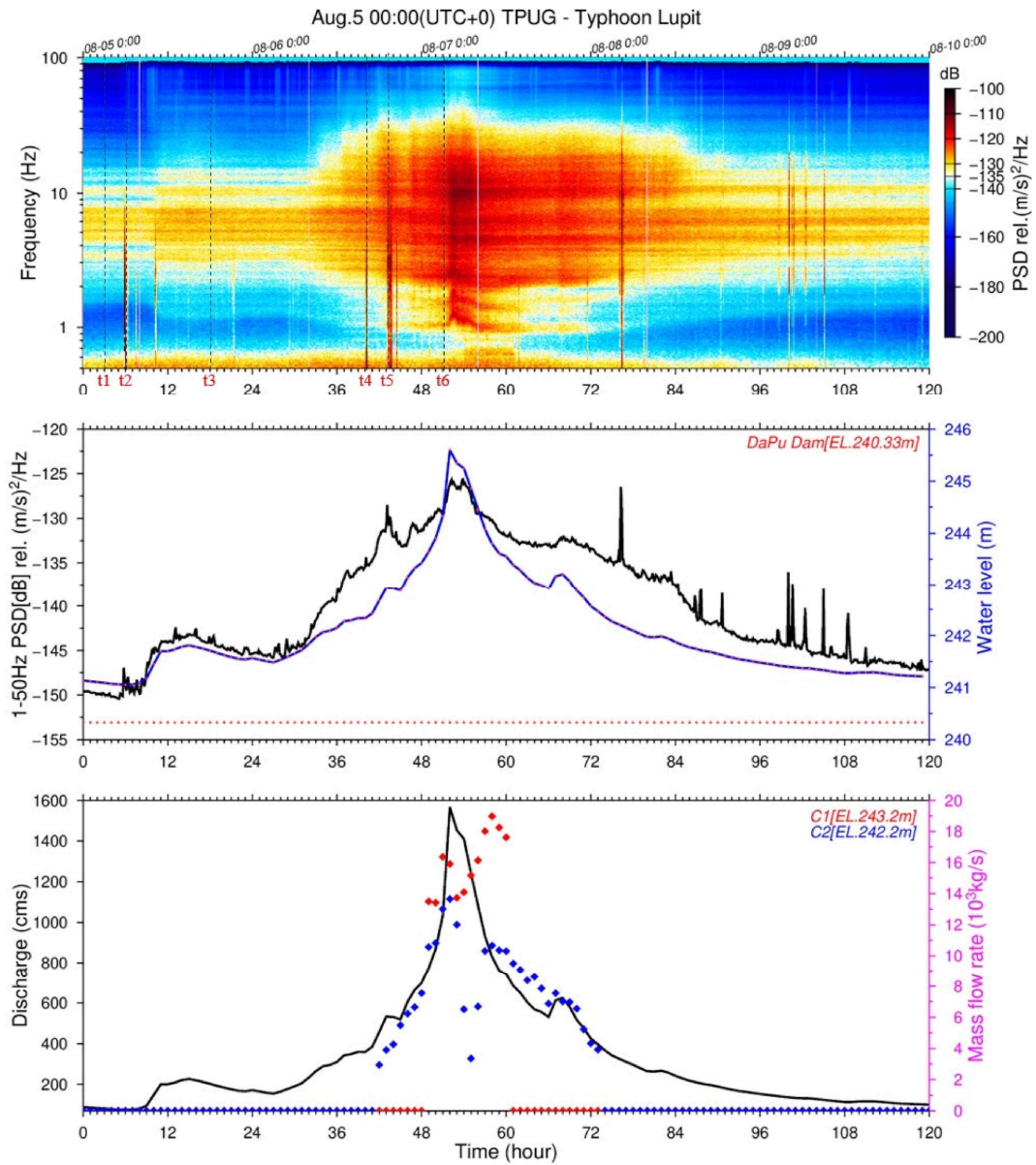


Figure 2: (a) Power spectral density of Typhoon Lupit. (b) Power spectral density-Water level. (c) Discharge and suspended sediment concentration.

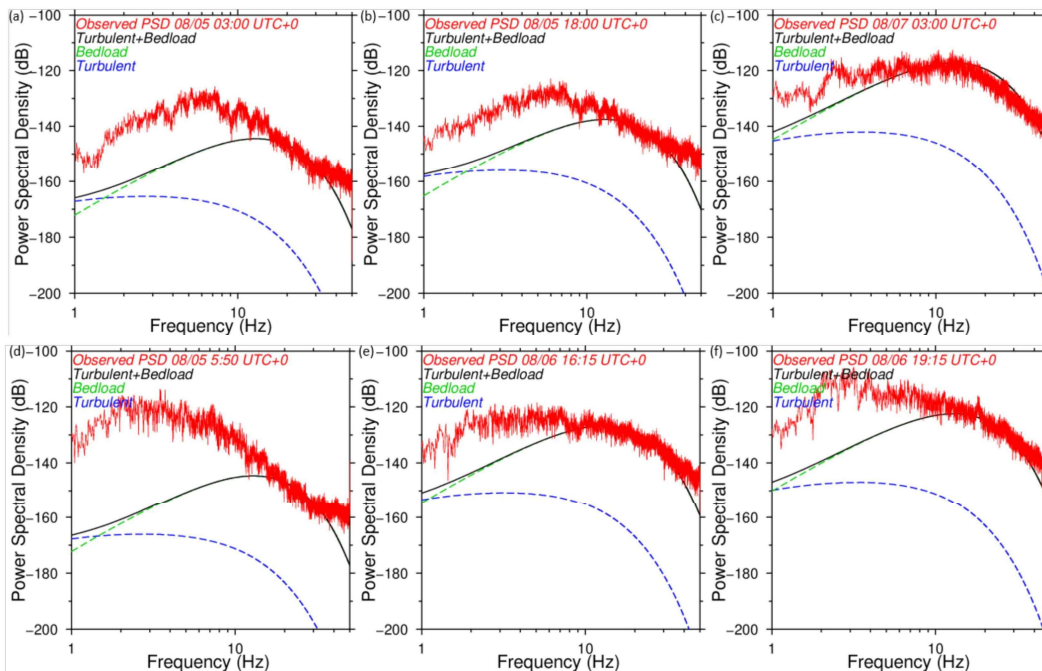


Figure 3: (a),(b) and (c), water level events of Lupit, from left to right: low, normal, high water level. (d),(e) and (f), seismic events of Lupit, from left to right: low, normal, approaching high water level.

Table 1 Lupit - Seismic Saltation model parameters configuration

	Time t						Fixed Parameters	
	t_1	t_2	t_3	t_4	t_5	t_6	V_{c0} (m/s)	1136.944
$W(t)$, (m)	35.7195	35.6885	36.3730	36.9676	37.5561	40.52	r_0 (m)	80
$H(t)$, (m)	0.7195	0.6885	1.373	1.9676	2.5561	5.52	D_{50} (m)	0.042
$C_s(t)$, ($\frac{kg}{m^2}$)	1.0	2.1	2.565	3.5	6.957	8.093	ρ_s (kg/m^3)	2600
$Q_w(t)$, ($\frac{m^3}{s}$)	78.75	74.71	207.98	357.42	530.10	1696.48	α	0.173
$Q_b(t)$, ($\frac{kg}{s}$)	78.75	156.891	533.4687	1250.97	3687.90	13729.61	θ ($^\circ$)	0.57
$Q_b(t)$, ($\frac{kg}{s}$)	6.847	6.537	40.153	536.130	1580.531	3432.403	σg	1.48
Q_b/Q_s	0.087	0.0753	0.0417	0.04285	0.4286	0.25	Q_0	4.0
$q_b(t)$, ($\frac{m^3}{s}$)	7.373E-5	7.045E-5	4.245E-4	5.557E-3	1.618E-2	3.258E-2		

NOTE: $t_1: Q_s: Q_b$ (9.2:0.8), $t_2: Q_s: Q_b$ (9.3:0.7), $t_3: Q_s: Q_b$ (9.6:0.4), $t_4: Q_s: Q_b$ (7:3), $t_5: Q_s: Q_b$ (7:3), $t_6: Q_s: Q_b$ (8:2)

- (1) National Yang-Ming Chiao-Tung University/WeiAn Chao
- (2) Master/2nd
- (3) popismylife105@gmail.com

Slope geological model and topographic evolution of large paleo rockslide – Examples of Mujiliao and Tianziding Platforms in Baizhikeng Stream, Kaohsiung City

I-Lin Chuang¹, Che-Ming Yang¹

(1) Department of Civil and Disaster Prevention Engineering, National United University

Abstract

The topographic evolution of slope is critical information for disaster prevention and mitigation strategies. Previous study presents numerous platform terrains are found on the dip slope along the right bank of Qishan River. Moreover, the platforms near Jiasian Weir are validated to the deposits of paleo rockslides (also known as displaced rock mass, DRM). However, most of the platforms do not investigate carefully. This research aims to establish a slope geological model through topographical analysis, field investigation, and aerial photogrammetry for the understanding of the formation mechanism of the platform and the topographical evolution process. This study chooses two large platforms, Mujiliao (MJL) and Tianziding (TZD) Platforms, to investigate in Baizhikeng Stream watershed. Their areas and elevation differences between platforms and riverbed of MJL and TZD are about 4.3 ha/410 m and 7.0 ha/320 m, respectively. The topographic and structural features of platform and landslide could be described quantitatively. Moreover, the slope geological models of MJL and TZD are established. The field survey results show that the dip angle of bedding in the bedrock and rock mass of platform are $\sim 40^\circ$ and $5\sim 10^\circ$. It is corresponding to DRM of Jiasian case. The interbedded structure of DRM and the release joint with high dip angle can be identified at outcrops around platform. In addition, a long tension crack is identified by topographic analysis before the deep-seated landslide of MJL and becomes to the major scarp after landslide. The rockfall of DRM is easily triggered along gullies, cliff or road cutoff. Therefore, the release joint or tension crack of DRM should be the critical features for slope stability. However, the high degree of bending or disturbance of displaced rock masses were exposed occasionally. It implies that the breakage, deformation or collapse of displaced rock mass were caused probably during paleo rocksliding, long-term creeping and slope failure.

Keywords: Dip slope, paleo rockslide, geological model, topographic evolution

(1) National United University / Che-Ming Yang

(2) Master/Second year

(3) g29017508@gmail.com

Assessment of shallow landslide slope stability using electrical data and soil-water relationships

Ya-Sin Yang¹、Hsin-Fu Yeh¹、Chien-Chung Ke²、Nai-Chin Chen²

(1) Department of Resources Engineering, National Cheng Kung University, Tainan, Taiwan、(2) Geotechnical Engineering Research Center, Sinotech Engineering Consultants, Inc., Taipei, Taiwan

Abstract

Variations in the hydraulic behavior of unsaturated soils due to rainfall infiltration play a significant role in the development of soil wetting patterns and the initiation of slope failure. In-situ slope monitoring techniques can be used to identify soil hydrological and mechanical processes during the initiation of shallow landslides. However, geophysical methods and geotechnical surveys technique used in hillslope are usually independent of each other, and it remains challenging to correlate geophysical observations with soil geotechnical properties. In this study, we investigated the relationship between soil water content and electrical conductivity at Babaoliao landslide site in Chiayi County, and constructed soil water potential–electrical conductivity curve (SWEC) and suction stress–electrical conductivity curve (SSEC). Then, we extended the shear strength model for unsaturated soils to correlate the shear strength model with the matric suction and electrical conductivity. To verify the model rationality, we adopted the finite element analysis model HYDRUS-2D and Slope Cube Module to obtained local safety factor to evaluate the slope stability. We found that the shear strength model can indicate shallow slope failures caused by increased soil water content. The slope stability analysis revealed that the variation trend of the local safety factor is consistent with that of the shear strength, indicating that the shear strength model established in this study with electrical conductivity as a variable can serve as an alternative to the conventional hydrological assessment method.

“Students’ Poster Competition”.

(1) National Cheng Kung University/Hsin-Fu Yeh Associate Professor

(2) PhD /6

(3) moocat027@gmail.com

利用 python 自動化快速繪製地震誘發山崩之山崩潛感圖

—以集集地震為例

沈楷庭¹、董家鈞¹、李錫堤¹、曾佳漢²

(1) 國立中央大學應用地質研究所、(2) 中國文化大學地質學系

摘要

台灣位於環太平洋火山地震帶上，一年中發生地震的次數可說是不計其數，台灣又有許多活動斷層，可能正在醞釀大地震的發生，根據統計，發生地震所奪走的生命財產損失除了地震本身外，再來就是地震所引發的山崩，因此在地震發生時能快速且準確地知道哪裡可能會發生山崩是件重要的事，除了可以盡快疏散村民，也可以提供給救難隊，讓他們知道哪裡需要救援。

本研究希望透過python可以即時的繪製山崩潛感圖，減少費時的人工資料處理，透過程式在數分鐘內及時發布山崩潛感圖，降低生命財產的損失，在本研究中參考了李錫堤教授2014年在Engineering Geology發表的文章，使用羅吉斯回歸建立山崩潛感模型並計算潛感值，使用了坡度、坡向、地表粗糙度、坡度粗糙度、總曲率、全坡高、岩性、愛氏震度(Arias Intensity)八個因子作分析，在得到模型後，將因子代入回歸式，即可得到全台灣的潛感值，最終根據統計，AUC(Area under the Curve of ROC)=0.907。另外在本研究中也使用了新的方法建立羅吉斯回歸模型，在傳統建立羅吉斯回歸之山崩潛感模型時，會將誘發因子納入羅吉斯回歸的方程式中，而在本研究則是將訓練資料以誘發因子作為分區標準，計算在不同區間內的山崩潛感模型，而在繪製山崩潛感模型時，則視誘發因子的值決定其所代入的模型，結果顯示此模型更能精確的繪製出山崩發生位置，而此模型AUC=0.922。

在未來希望能將計算羅吉斯回歸模型至匯出山崩潛感圖轉換成自動化程式，當主震發生時，能透過介接地震訊號，自動將誘發因子導入至程式並可自動產出山崩潛感圖且發布，藉由此系統能及時預警哪裡可能發生山崩，並提供給救難隊參考，降低救災難度以及減少災害帶來的損傷。

【學生壁報比賽】參與者於摘要尾端註記

(1) 就讀學校/指導教授：國立中央大學/董家鈞 教授、李錫堤 教授

(2) 學位/年級：碩士班二年級

(3) E-mail/手機號碼：snail880108@gmail.com

運用數位影像相關法分析內蒙古阿拉善盟露天
煤礦崩塌活動性研究
Analysis of collapse activity in Alxa League open-
pit coal mine in Inner Mongolia using digital image
correlation method

郭賢立、林冠瑋、林亭妤
國立成功大學地球科學系

摘要

2023年02月22日約下午1點12分於內蒙古阿拉善盟地區一座露天煤礦場發生大規模坍塌事件，崩塌長度約400公尺，邊坡材料主要為黃土，共造成50餘人失蹤。本研究利用數位影像相關法(Digital Image Correlation, DIC)，透過光學衛星影像分析崩塌前數周至數月的邊坡活動情形，分析結果顯示在本次崩塌發生前，於崩塌東南側趾部及崩塌中段皆有活動的跡象存在，於發生前一個月的影像分析結果顯示，此崩塌塊體有部分活動速率達數公分/日。且由影像分析整體邊坡變形活動分布情況，本次崩塌應屬於岩體潛變所引致之邊坡破壞形式。

Key words：礦場崩塌、數位影像相關法、岩體潛變
【學生壁報比賽】

- (1)就讀學校/指導教授：國立成功大學地球科學系/林冠瑋博士
- (2)學位/年級：博士班/2年級
- (3) E-mail/手機號碼：kuo1195@gmail.com

利用數位影像相關法分析神木集水區地表位移

曾律瑗¹、林亭妤¹、林冠瑋¹

國立成功大學地球科學系¹

摘要

神木集水區位於南投縣信義鄉，屬陳有蘭溪上游支流。自1996年7月賀伯颱風引發重大土石流災害後，每逢夏季的颱風或豪雨期間便容易發生土石流災害。為瞭解集水區內土石流材料的供應狀態，本研究欲透過分析邊坡的活動性，以找出具有高崩塌潛勢的區塊。本研究利用多期PlanetScope光學衛星影像及數位影像相關法(Digital Image Correlation, DIC)分析2016年7月至2022年12月期間愛玉子溪及出水溪集水區內邊坡的地表位移，以計算出不同時期邊坡的活動性。為了更細緻地討論邊坡的地表位移狀況，將兩個集水區再分別劃分成多個小集水區，並從中找出具有明顯地表位移的區塊。結果顯示，不同小集水區在每個時期位移速率的變化大致相同，但受水文條件或地形、地質因子影響會使不同小集水區的邊坡活動性有不一致的現象。使用影像相關性分析的方法能有效計算集水區內地表位移速率，並推算出土石流潛勢溪流源頭區及沿岸邊坡提供土石材料的潛能，以作為後續評估防災發生潛勢的參考。

關鍵詞：數位影像相關法、地表位移、神木集水區、土石流

【學生壁報比賽】參與者於摘要尾端註記

- (1) 就讀學校/指導教授：國立成功大學/林冠瑋
- (2) 學位/年級：地球科學所/二
- (3) E-mail/手機號碼：146101218@gs.ncku.edu.tw

不連續面先天異向性及應力異向性對岩石邊坡孔隙 水壓分布之影響

劉佳怡¹、董家鈞¹、涂家輝¹

(1)國立中央大學應用地質研究所

摘要

岩石邊坡受岩體中的不連續面影響，其所形成之複雜網絡往往是地下水之重要通道，因此不連續面之特性，包含位態、內寬等會影響岩石邊坡之滲透特性。根據前人研究發現不連續面位態分布會使岩體滲透係數產生先天異向性，同時應力會影響不連續面之內寬，亦將導致滲透係數產生應力引致異向性。本研究使用FLAC3D建立岩石邊坡模型，利用擬連續體模式(continuum approach)考慮不連續面先天異向性以及岩體不連續面內寬隨正向應力改變之應力引致異向性計算等值滲透係數張量(equivalent permeability tensor)，將計算結果輸入模型，透過滲流分析得到穩態孔隙水壓於岩石邊坡模型之分佈情形，最後再進行邊坡穩定分析得到安全係數與剪應變增量區。

當只比較均向應力場及非均向應力場的影響，於岩石邊坡孔隙水壓最大相對差異值約21%，對安全係數及剪應變增量區並無顯著影響；而加入考慮不連續面異向性程度於均向應力場的影響，假設走向節理數量明顯多於傾向節理的情況下時，孔隙水壓最大相對差異值約52%分佈於坡趾處，安全係數隨之減小；此外，考慮不連續面異向性程度於非均向應力場的影響，同樣的情況下孔隙水壓最大相對差異值約51%，安全係數卻隨之增加。在本研究情況假設下，不連續面異向性程度會影響孔隙水壓分佈進而減低邊坡穩定性，同時應力場影響岩石邊坡內不連續面的內寬閉合量也會對孔隙水壓分佈和安全係數造成影響。因此，針對岩石邊坡進行穩定性分析時需考慮不連續面特性對地下水流動的影響。

【學生壁報比賽】參與者於摘要尾端註記

- (1) 就讀學校/指導教授: 國立中央大學/董家鈞教授
- (2) 學位/年級: 碩士生/二年級
- (3) E-mail/手機號碼: tina94020188@gmail.com

Distribution of Macroseismic Intensity of 2022 Mw 5.9 Keng Tung Earthquake in Eastern Myanmar: Correlation between felt intensity and ground motion data

Ei Mhone Nathar Myo¹, Yu Wang¹, Yih Min Wu¹, Hsin-Hua Hung², Chung-Han Chan³, Myo Thant^{4,6}, and Lin Thu Aung⁵

(1) Department of Geosciences, National Taiwan University, (2) Institute of Earth Sciences, Academia Sinica, (3) Department of Earth Sciences, National Central University, (4) Department of Geology, Yangon University, (5) Earth Observatory of Singapore, Nanyang Technological University, (6) Myanmar Earthquake Committee, Myanmar;

Abstract

On July 21, 2022, a moderate Mw 5.9 earthquake struck eastern Myanmar, with its epicenter estimated to be approximately 30 km southeast of Keng Tung (Kyaing Tone) Township. The mainshock and aftershock distribution are in close proximity to western end of Wan Ha Fault which is an active left-lateral fault within the Shan Fault system. According to reports from social media and the local internet news, the mainshock was felt from southernmost Yunnan to central Thailand, causing building damage and landslides near the mainshock epicenter. To better understand the mechanism of this earthquake event, and analyze the relationship between the felt intensity and the instrument ground motion records, we collected felt reports and damaging photos from social media and digital news to conduct a macroseismic investigation of this event. We also use data from the Myanmar National Seismic Network and the Thai Seismic Monitoring Network to relocate Keng Tung earthquake sequence using Double Difference Relocation method. Our preliminary analysis suggests that the entire relocated Keng Tung earthquake sequence aligns with the previously mapped Wan Ha Fault trace, with focal depths between 20 and 35 km. This confirms the Wan Ha fault is indeed the source of the Keng Tung earthquake. For the mainshock event, our macroseismic investigation shows a stronger felt intensity zone SW of the epicenter, indicating the mainshock rupture may rupture from NE to SW. We also noticed that the felt intensity fits the PGV data better than the PGA in the region of Myanmar and Thailand, and the building damage close to the epicenter is most likely the result of poor construction quality and site conditions We anticipate that these findings will assist us in developing a more accurate model to predict earthquake damage and ground motion in the central part of mainland Southeast Asia in the future.

(1) National Taiwan University/Wang Yu

(2) Ph.D/3rd Year

(3) D09224007@ntu.edu.tw

Detect the surface rupture of the 2022 Guanshan-Chihshang Earthquakes by using optical satellite image and subpixel correlation method

Lee, Zi Xin & Ray. Y. Chuang

The series of earthquakes with Mw6.4 and Mw6.8 magnitude occurred on 17 and 18 September 2022 in Guanshan and Chihshang, and triggered a large area surface rupture along the Central Range fault and Longitudinal Valley fault. To detect the distribution of surface rupture, active (SAR) and passive (optical) satellite images are needed. However, because of the limitation of the line of sight in SAR satellites, SAR images cannot detect the N-S direction deformation well. Furthermore, the faults triggered by the earthquakes are distributed in the N-S direction and ruptured with the left-lateral displacement. Thus, we use Pléiades, the high-resolution optical satellite images to detect the earthquakes' surface deformation. We use the image before(2022/06/22-23) and after(2022/09/21) the earthquakes, and using COSI-Corr software, which is the subpixel correlation method and perfectly detects the displacement of the earthquake in different directions. We show the distribution of the Taitung earthquakes' surface rupture and found that the earthquake ruptured from Chihshang to Songpu, which has a significantly N-S displacement in Yuli area.

Keywords: surface rupture detection, Cosi-corr correlation, 2022 Taitung earthquake

**The tectonic evolution history of Tainan Basin since Oligocene and
the sequence stratigraphy influenced by sea level changing after
Pleistocene**

Chia-Chun Hsu^a, Yi-Ching Yeh^a

^a Department of Earth Sciences, National Central University, Taiwan

Abstract

Lin et al. (2003) indicates that two major basin, Taihsi basin and Tainan basin, dominate Taiwan western offshore area. Since 58 Ma, according to seismic data, biostratigraphic data and well log data, Taiwan offshore area was composed by syn-rift episode and post breakup episode. When it comes to post breakup period (Oligocene to Miocene), it can be divided to 4 sequence sets (Sequence A - D). In addition, Lin et al. (2021) also availed foraminifera as marker beds so that the sediment sequences in different well log data can be correlated which may provide a much more exactly isopach map off western Taiwan. Through seismic data and borehole data, he also found that two rifting events that were active in outer margin were recorded in Sequence A (30-21 Ma) and D (12.5-6.5 Ma); in Sequence B and C (21-12.5 Ma), Taihsi basin and Tainan basin were dominated by thermal subsidence which accompanied with relatively uniform thickness deposited. Despite the local extensional force could not been underestimated, the global eustasy events also made a great contribution on sediment stratigraphy off Taiwan. All in all, no matter in syn-rift period or in post breakup period, the rifting force played a crucial role as accommodation creator; on the other hands, the sediment supplement amount indeed affected the sea level rise or fall, which might influence the evolution of each basin. Therefore, in order to figure out the much more detail evolution history of Tainan Basin, we avail 18 long offset seismic survey lines and 10 sparker survey lines to do the research in Northeastern side of South China Sea.

References

- Lin, A.T., Watts, A.B., Hesselbo, S.P., 2003. Cenozoic stratigraphy and subsidence history of the South China Sea margin in the Taiwan region. *Basin Res.* 15, 453–478.
- Lin, A.T., Yang, C.-C., Wang, M.-H., Wu, J.-C., 2021. Oligocene-Miocene sequence stratigraphy in the northern margin of the South China Sea: An example from Taiwan. *Journal of Asian Earth Sciences* 213, 104765.

(1) University/Advisor : National Central University / Dr. Yi-Ching Yeha

(2) Degree/Grade : Master / 2

(3) E-mail/Cell phone number : hsuchiachun0324@gmail.com

Geophysical Characteristics of Huaping Islet Submarine Volcanic Zone

Ting-Yu Hsu¹、Ho-Han Hsu¹、Cheng-Chun Chung¹、Ching-Yun Huang¹、Arif Mirza²、Yi-Rong Lin³、Song-Chuen Chen³、Char-Shine Liu²

(1) Institute of Oceanography, National Taiwan University, Taipei, Taiwan

(2) Ocean Center, National Taiwan University

(3) Central Geological Survey, MOEA

Abstract

The Southern Okinawa Trough's post-collision collapse and back-arc spreading have impacted the offshore NE Taiwan region, resulting in the development of hydrothermal systems with potential mineral resources. Through 34 geophysical surveys conducted over seven years, eleven submarine volcanic or hydrothermal sites were identified, including the Huaping Islet Submarine Volcanic Zone (HISVZ). However, detailed distribution and characteristics of HISVZ remain unclear, making mineral resource evaluation difficult.

This study aims to investigate the geological and geophysical characters and mineral resource potential of HISVZ by examining its volcanic distribution, morphology, features, and mechanisms. To achieve this, multi-beam bathymetry and multi-channel reflection seismic data were utilized to reveal the geophysical characteristics of the area. Advanced data processing flows were developed and applied on collected seismic data to suppress multiple reflections and minimize bubble effect, resulting in improved seismic images of the volcanic features. From seismic facies analysis, several seismic characteristics of the volcanoes have been identified, including high-amplitude reflections in shallow strata below the seafloor, with a blank seismic phase inside or chaotic phase and the signal exhibits a conical feature. Our newly compiled bathymetry data with 25-meter grid spacing provides morphological details of HISVZ in an area of approximately 40 km². Volcanic features have been identified on the MCS profiles at shallow water depths. Additionally, high magnetic anomalies were observed in the magnetic data.

We plan to continue our advanced seismic data processing work and identify more detailed volcanic features on seismic profiles. We will also collect and analyze more magnetic data and sub-bottom profiles data to better understand volcanic activities in HISVZ and search for potential sites for marine mineral resource assessment.

(1) National Taiwan University / Ho-Han Hsu

(2) Master's Degree / Second Grade

(3) qaz5026622@gmail.com

Soft-Sediment Deformation Structure Analysis in the Central Taiwan Strait

Wei-Chen Chen¹、Ho-Han Hsu¹、Yi-Ping Chen²、Ting-Yi Liu²、
Sung-Ping Chang³、Yi-Rong Lin⁴、Song-Chuen Chen⁴、Char-Shine Liu²

(1) Institute of Oceanography, National Taiwan University、

(2) Ocean Center, National Taiwan University、

(3) Department of Earth Sciences, National Cheng Kung University、

(4) Central Geological Survey, MOEA

Abstract

The Taiwan Strait has significant potential for offshore wind power and has been a focus of offshore wind power development since 2006. However, reports of pile run have raised concerns about the impact of high-pressure fluid within sedimentary layers and the resulting liquefaction processes. Evaluating the potential risk of liquefaction is critical to mitigate this risk. This study aims to assess the potential risk of related geological features which may cause pile run in the Taiwan Strait. We use sub-bottom profiles, sparker seismic and multi-channel seismic reflection data to identify fluid migration and soft-sediment deformation features from shallow to deep strata. Besides, we apply advanced data processing techniques to better image those specific features on all profiles better. Three types of soft-sediment deformation features have been identified based on different acoustic/seismic characteristics on the seismic profiles: (1) Type A, characterized as a vertical pipe feature with low amplitude in its interior and high reflection amplitude at the upper boundary; (2) Type B, showing a pillow-like feature with low amplitude in its interior and high amplitude at the upper reflection; and (3) Type C, presenting a depressing feature with high-amplitude reflections at both the upper and lower boundaries. These different soft-sediment deformation features can be used to assess the geohazard risk by identifying areas of sedimentary disturbance that could lead to liquefaction, fluidization, and deformation. We will continue to study the relationship between soft-sediment deformation and depositional environment in the next stage.

(1) National Taiwan University / Ho-Han Hsu

(2) Master's Degree / Second Grade

(3) candyrebecca25@gmail.com

新竹斷層的海域延伸分布與變形前緣位置之探討

林廉凱¹、許樹坤¹

(1)國立中央大學地球科學系

摘要

西部麓山帶有著一系列相當活躍的褶皺與逆衝斷層分布，而新竹位於台灣西部麓山帶最西北側的前緣，1935年曾在新竹發生過規模6.8的大地震，甚至一些較大的餘震是發生在海域，新竹地區因為是高科技產業密集區，對於地震災害影響評估格外重要。變形前緣沿著西部麓山帶前緣分布，在苗栗附近延伸至海域。因此，新竹海域也有褶皺與斷層分布，且影響到在桃竹苗鄰近地區的變形前緣分佈。新竹地區在造山運動開始後，沉積物沿著地底3公里深的滑脫面，以及第三紀前形成的正斷層，往前推擠並往上逆衝形成一系列連續的斷層擴展褶皺(Fault-propagation fold)與高角度逆衝斷層。主要的斷層分佈由南往北有龍港斷層、斗煥坪斷層、新竹斷層、湖口斷層，走向大多為東-西向。本研究收集了5條東北-西南走向，平行海岸線的多頻道火花放電高解析反射震測剖面。研究結果顯示，新竹海域的連續褶皺亦呈現背向傾角較緩，朝向斷層側的傾角較陡的斷層擴展褶皺。兩褶皺之間則為高角度逆衝斷層，共發現3個斷層系列。由南到北分別以F1、F2、F3命名。F1斷層出露至海床，為高角度向南傾的逆衝斷層。若搭配歷史地震的震源機制解釋，可能是逆衝帶右移的形式，推測是陸上龍港斷層的海域延伸。F2斷層系列同樣出露至海床，並沿褶皺構造分布，走向約為北偏東70度，大約與陸上的青草湖背斜相當。根據斷層傾角及走向分布顯示，褶皺構造在板塊碰撞的末端受到擠壓轉換作用(transpression)產生分支的現象。位於最前緣向南傾的高角度逆衝斷層F2b，則可能是新竹斷層的海域延伸。然而，介於龍港斷層以及新竹斷層間的斗煥坪斷層，若沿著相同走向延伸至海域則未發現斷層的蹤跡。F3斷層系列同樣觀察到斷層分支現象，但沒有出露至海床，暗示已不活躍。根據位置推測可能與陸上的湖口斷層相連。綜合以上解釋與過去此區域變形前緣位置之討論，本研究認為變形前緣蹤跡從苗栗向西北方向出海，一直至本研究區西側海域，在新竹海域連接回F2斷層系列及褶皺構造最西緣之位置，再連接回陸上新竹斷層或以北介於湖口斷層之間的位置。

【學生壁報比賽】

- (1) 國立中央大學/許樹坤
- (2) 博士班/4年級
- (3) fireballman51@gmail.com

應用機器學習演算法調查南海北坡的海床逸氣現象

邵昱勳、張翠玉、黃致展

國立臺灣大學海洋研究所

摘要

海床逸氣是一種常見的地質現象，其排放的氣體主要是以溫室氣體—甲烷為主，這對全球環境有很大的影響。排放的氣體可能來自地層中天然氣水合物的解離，氣體解離後的空間以及移棲的管道都會影響海床的穩定性。現今主要是透過海洋探測船上所搭載的儀器觀測海床逸氣，如藉由聲波測深儀觀察海床氣焰，因此較無法長時間的觀測。

近年來許多研究透過海底地震儀觀測海床逸氣，來達到監測的效果，當解離氣體沿著地層裂隙往上移動到沈積物與海水層的介面時，會因為減壓產生小型的爆裂現象，其能量會沿著地層傳遞到附近的海底地震儀，並產生高頻的短持續時間事件 (Short duration event, SDE) 的波形，波形的振幅在起始的時間點最大，並隨著時間呈指數下降，訊號長度大約 1 到 4 秒，且呈現較為單一的特徵頻率。當訊號振幅較大時，人工檢測相對容易，但如果訊噪比太低，會難以區分訊號與雜訊。而機器學習就是一個解決這問題的方法。

本研究透過機器學習的方式，分析布放在南中國海北坡上海底地震儀的紀錄，並以長短期記憶神經網路作為主要架構，訓練出可以判斷海底地震儀中短持續時間事件的模型。選擇時序資料、包絡線，以及時頻圖做為輸入資料的特徵，並給予模型已標籤的資料，讓模型從訓練資料中透過特徵尋找規律，並依靠此規律在資料中判斷出更多的事件。

最終，本研究透過機器學習辨識且量化短持續時間事件，發現短持續時間事件會隨著潮汐的漲退而表現出周期性，推測海床逸氣的現象與潮汐相關，通常會在漲潮與退潮期間相對活躍。期望藉此研究探討海床逸氣的機制，進一步掌握海床逸氣產生的影響與衝擊。

關鍵字：海床逸氣、海底地震儀、機器學習、南中國海北坡

1. 就讀學校/指導教授： 國立臺灣大學海研所/張翠玉、黃致展
2. 學位/年級： 碩士/二年級
3. E-mail/手機號碼： first8811@gmail.com

海底地震儀和多頻道反射震測資料分析 澎湖盆地東部沉積構造

黃薇¹, 吳虹儀², 王天楷¹

- (1) 國立臺灣海洋大學地球科學研究所
- (2) 國立臺灣海洋大學海洋環境資訊系

摘要

臺灣海峽中部的的主要沉積盆地構造，包括臺西盆地、南日島盆地和澎湖盆地。本研究探討的澎湖盆地是介於其東南邊界斷層與火成岩之間的始新世湖相沉積和半地塹盆地。由於中國福建濱海斷裂帶與東沙-澎湖北緣斷裂帶附近的活動斷層和2018年澎湖地震 (Mw~6.1) 的發生，臺灣海峽中部的斷層活動可能已經重新激發。為了確認該區域沉積構造、活動斷層和可能形成的走滑斷層花狀構造分佈，本研究分析於2021年10月在澎湖盆地東部由新海研二號時差式氣槍激發的9部海底地震儀和3條多頻道震測資料。從2021年收集的6部海底地震儀資料可觀察支距10-20公里的折射波訊號，我們並選取海底地震儀資料的折射波和反射波走時，反演深度3公里的沉積層和上部地殼的P波速度-界面模型。本研究發現澎湖中部次盆地以東淺層和深層沉積層的P波速度分別為1.5-2.75公里/秒和3.0-4.5公里/秒。海底地震儀震測模型距離5-15公里處也顯示在上部地殼2.4公里深處有高P波速度區 (5-5.5公里/秒)，推測其可能與火山碎屑岩有關。另根據澎湖盆地以東的多頻道震測剖面，除發現多處斷層，亦可在淺層沉積層中觀察到大範圍的強反射訊號以及疑似岩漿通道之曲狀向上訊號，可能是由噴出漫流之岩漿所形成澎湖中部次盆地和東北次盆地以東的火山沉積構造。

【學生壁報比賽】

國立臺灣海洋大學/王天楷 教授
地球科學研究所碩士/三年級
bd22252728@gmail.com

新竹苗栗離岸—近岸地區之地殼構造模型反演

詹御榮¹、戚務正²、王天楷¹

(1)國立臺灣海洋大學地球科學研究所

(2)中央研究院地球科學研究所

摘要

新竹苗栗一帶位於臺灣的西北部，位處在北港高區以及觀音高區之間，東北西南走向的背斜與走滑斷層構造普遍存在於該地區。本研究探討新竹苗栗的離岸與近岸區域的地殼速度構造，以分析沿海是否有於第四紀形成的斷層或是在更深處的地殼有其他孕震構造。本研究成果可預防地震在新竹苗栗近岸地區造成重要工業設施或是人身安全的損害。

本研究分析 2022 年 9 月由新海研一號空氣槍(930 立方英吋體積)為震源，並收集的 6 條多頻道反射震測剖面。新海研一號的空氣槍震源也同時由佈署在新竹苗栗的 93 部地震儀接收來自沉積層的首波與地殼的折射訊號。我們利用陸上與海上震測資料進行走時反演，建立沉積層與地殼 P 波速度-界面模型。海陸震測資料分析將有助於我們在新竹苗栗近岸地區建構更深部的斷層或摺皺構造，進而尋找是否有其他因第四紀地體構造活動形成的活動構造。

本研究建立的地殼速度模型顯示新竹苗栗近岸區域 15 公里深處存在 P 波速度 6 公里/秒的速度層。未來將建立更完整的海陸地殼速度-界面模型，以利探索新竹苗栗近岸更深處的地殼構造。

關鍵字：背斜、多頻道反射震測、臺西盆地、走時反演

【學生壁報比賽】參與者於摘要尾端註記

(1) 國立臺灣海洋大學/指導教授：王天楷

(2) 碩士生/一年級

(3) op860624@gmail.com

Numerical Modeling of the Fault Zone Trapped Waves Using Finite-Difference Method

Yu-Chien Lin¹ and Justin Yen-Ting Ko¹

Institute of Oceanography, National Taiwan University

Abstract

Fault zone trapped waves (FZTWs) are distinguished by their capacity to amplify ground motion and generate extended coda waves, as they propagate into regions of low velocity. Developing a deeper comprehension of these trapped waves has the potential to advance our knowledge of the properties and behavior of fault zones. The Milun Fault Drilling and All-Inclusive Sensing project (MiDAS) has proven to be a highly suitable and informative source of data. The MiDAS project is noteworthy for its incorporation of fiber optic seismograph technology, also known as Distributed Acoustic Sensing (DAS). Compared to traditional geophones or dense seismic arrays, DAS offers a higher resolution and a more comprehensive coverage of continuous data due to its denser station array. As a result, DAS data is especially well-suited for the analysis of trapped waves, and has facilitated a better understanding of the subsurface structure of the Milun fault. Initially, we utilized the 2-D Finite Difference Method to construct several models and generate synthetic waveforms. Our simulations entailed examining a range of fault widths, lengths, and angles, as well as various velocity reductions, with the aim of developing a collection of models to compare with observation data and identify the most suitable representation of the actual fault structure. By utilizing trapped wave analysis in conjunction with 2-D Finite Difference models, we have been able to deepen our comprehension of fault zone structures. and minimize seismic hazards by characterizing motion amplification with fault structure. Moving forward, our goal is to utilize the ambient noise cross-correlation method to simulate and monitor the Milun fault, with DAS providing clear recordings of ambient noise signals. Through seismic and ambient noise trapped wave analysis, we anticipate that we will be able to more precisely analyze the shallow fault structure.

Key Words: Distributed acoustic sensing, Trapped waves, Finite Difference Method, Ambient noise seismic interferometry

- (1) Institute of Oceanography, National Taiwan University/ Justin Yen-Ting Ko
- (2) Master/ 1st grade
- (3) archiesyu@gmail.com

利用台灣陣列資料進行北台灣場址特性分析

李少丰¹、饒瑞鈞¹

(1)國立成功大學 地球科學系

摘要

近年來，因為場址效應所導致地震災害受到廣泛的重視，得知地下速度構造，將有助於評估特定場址受到地震所產生的影響。其中微地動觀測相較於一般地震或者GPS觀測，具有成本低、自由度高優點。我們選擇利用台灣陣列(Formosa Array)的連續地震紀錄，進行微地動相關分析以了解北台灣地區的場址特性。為了瞭解大屯火山地區的地下構造，在北台灣地區設置寬頻地震站，是為台灣陣列，總共148個地震站，平均間隔約5公里，分布於北北基、桃園以及宜蘭地區。其中我們選擇2021年6~8月共3個月的連續地震紀錄，並進行微地動的分析。

我們分別從單一地震站以及小區域陣列來進行分析：單一地震站部分，我們採用Nakamura提出的H/V頻譜比法，計算訊號在頻率域中垂直向對水平向振幅的比值，得到主頻及放大倍率，此結果代表地下速度構造在該位置的表現。我們計算每天的H/V曲線以及平均值。結果顯示在台北盆地、宜蘭平原，以及桃園台地內側的地震站，為低主頻的位置(2Hz以下)；桃園台地靠海側、東北角、烏來山區等則為高主頻的位置(6Hz以上)。同時低主頻的位置也對應到具較厚沖積層的地區(例如平原地區)。

另一方面，小區域陣列部分我們採用Capon提出的F-K法，求得頻散曲線，透過頻散曲線得到初步的地下速度構造。結果顯示，在低頻波段(0.05Hz)，除了桃園以及宜蘭地區，各陣列的相速度大致接近；而在高頻波段，山區的相速度比平原來的高，顯示北台灣山區的淺層速度比平原來得快。另外，大屯山地區的相速度均比同樣山區的相速度來得低，尤其是淺層部分，表示大屯山地區的地下可能為一低速帶地區。

關鍵字：場址效應、微地動、台灣陣列、H/V頻譜比、F-K法

【學生壁報比賽】參與者於摘要尾端註記

- (1) 就讀學校：國立成功大學/指導教授：饒瑞鈞
- (2) 學位：碩士/年級：三年級
- (3) E-mail：jimmylee10218k@gmail.com

利用表面波與遠場 SH 波探討 2018 年 9 月 28 日 M_w 7.5 印
尼帕魯地震的破裂特徵
**Rupture Features of the 2018 M_w 7.5 Palu, Indonesia,
Earthquake as Revealed by Surface Waves and Teleseismic
SH Waves**

邱亦璿¹、黃瑞德¹、黃怡陵²、林瓊瑤¹、林采儀¹

(1)中國文化大學地質學系、(2)國立臺灣海洋大學地球科學研究所

摘要

本研究利用表面波與遠場 SH 波來探討 2018 年 M_w 7.5 印尼帕魯地震的破裂特徵。首先，以雷利波週期 100 秒相速延遲和頻譜節點來評估此地震的整體破裂行為和斷層參數，並利用震源破裂方向性分析得到此地震是一單向且是超剪力破裂事件，其最佳破裂方向為北偏東 179° ，由震央向正南方破裂，整個震源歷時 30.97 sec，破裂長度 118.9 km，平均破裂速度 3.84 km/s，上揚時間為 6.06 sec，扣除上揚時間後，得到破裂速度為 4.77 km/s，達到所謂的 Eshelby 速度($\sqrt{2}$ 倍 S 波速度)。除外，為了更進一步了解印尼帕魯地震是否有更複雜的破裂現象，本研究以遠場 SH 波進行時間域解迴旋得到帕魯地震震源時間函數，結果顯示此地震至少由 5 個子破裂所組成，總地震矩(M_0)為 3.12×10^{20} Nm (M_w 7.6)，最大能量釋放發生在第二個子破裂，約在 11 秒處，整體的震源輻射能量(E_s)為 9.95×10^{15} Nm，此時的 E_s/M_0 比值為 3.19×10^{-5} ，與一般大地震的結果相似，但子破裂的 E_s/M_0 變化則表示斷層面的不均質性。

關鍵詞：表面波、SH 波、超剪力破裂、震源時間函數

Key Words: Surface wave, SH wave, supershear rupture, source time function

臺灣縱谷地區地震活動特性與震源應力活動角之探討

許啟群^{1,2}、張翠玉¹¹國立臺灣大學海洋研究所²新北市立中和高級中學

摘要

花東縱谷為歐亞大陸板塊與菲律賓海板塊的縫合帶，地震活動頻繁，而自1970年代起台灣地區遙記式地震觀測網開始持續紀錄全台灣的地震，提供斷層活動與地震發震頻率的研究資料。參考前人研究以及地震事件的同震變形空間分佈，過去多將縱谷斷層分為米崙、嶺頂、瑞穗、池上、利吉、玉里等段。本研究利用 K-Means algorithm 將縱谷地區地震重新收斂，並依收斂後之分佈型態重新劃分為 N1、N2、M、S1、S2 共五個地震群：N1 範圍自花蓮光復西側延伸至太魯閣國家公園；N2 位在 N1 之東側，涵蓋嶺頂斷層、米崙斷層與北方隱沒前緣；M 為瑞穗斷層周邊；S1 為池上斷層以西，涵蓋玉里斷層；S2 為池上斷層東側之地震群。

本研究分為兩部分：（一）使用中央氣象局地震目錄進行 b 值、z 值和地震數量之綜整分析，獲得縱谷地區各群的地震活動特性。（二）利用 K-Means algorithm 歸納各群地震對應的斷層面，再以 AutoBATS 之震源機制解帶入 MSATSI 應力反演模式獲得各地震群主應力方向 (σ_1)，計算各地震群主應力與其斷層面之斷層活動角 (activation angle) 和 R-ratio，以探討斷層面的活動度。

第一部分關於不同地震分群之 b 值分佈，顯示 N1、N2、M、S1、S2 之 b 值依序為 0.920、0.856、0.887、0.848、0.889。從地震數量與 z 值之計算結果，可以指出縱谷地區之地震活動在不同分群間隨時間與空間之變化情形。

第二部分則分別選取各群內之地震資料與震源機制解，利用 K-Means algorithm 和 MSATSI 進行斷層面擬合與應力反演，再進一步將主應力帶入擬合面即獲得斷層活動角。搭配前人文獻對於斷層活動角與摩擦係數之探討，可藉此討論縱谷地區不同地震分群之地震活動度與斷層活動角之關連性。

結果顯示 N1、N2 與 S1 分群皆呈現向西傾斜之擬合面；M 分群因地震活動度太低，難以收斂並產生可信之擬合結果；S2 分群呈現向東傾斜之擬合面。在摩擦係數 $\mu = 0.75$ 之條件假設下計算 R-ratio，結果則顯示各地震群內 $M_L > 5$ 之地震事件多位於有利活動之角度範圍內，然而部分地震事件發生位置之活動角已靠近或甚至處於不利活動的角度範圍，可能暗示著不同於假設之環境條件。

學生論文比賽

中華民國地球物理學會與中華民國地質學會112年暨學術研討會 224-SP-S1
S1 - General Seismology 一般地震學研究

【學生壁報比賽】參與者於摘要尾端註記

- (1) 就讀學校/指導教授：國立臺灣大學海洋研究所 / 張翠玉 教授
- (2) 學位/年級：碩士 / 四年級
- (3) E-mail/手機號碼：ken800404@gmail.com

2021 花蓮壽豐群震微震分析

曾士哲^{1,2}, 張文彥^{1,2,*}, 吳璋哲^{1,2}, 李文竣^{1,2}

(1)國立東華大學自然資源與環境學系

(2)國立東華大學台灣東部地震研究中心

摘要

台灣位於菲律賓海板塊與歐亞板塊交界處，台灣的東部縱谷被認為是兩板塊縫合帶，縱谷東側是以沉積岩和火成岩組成的海岸山脈，縱谷西側是以變質岩組成的中央山脈，在活躍的板塊構造下，使得台灣東部有相當密集的地震活動與地形。也因為在台灣東部地區，菲律賓海板塊向西北隱沒到歐亞板塊下方，導致東部地震活動相當頻繁。

近年來由於地震儀器的價格相對便宜，對於使用密集地震網的門檻越來越低，此方法不僅可以有效提升地震定位的精準度，也可透過較為密集的地震網分佈用以捕捉能量較小的微震訊號，獲取過去一般觀測網所無法獲得的微震訊號。另外，過去了解盲斷層的手段大多藉由觀測該區域的地震活動來判定，密集地震網由於可收集訊號更為微弱的微震，因此也可進一步運用於調查盲斷層的幾何型態。

為觀察花蓮縣壽豐鄉地震活動分布，本研究利用 SmartSolo 三分量地震儀佈置臨時密集地震網，測站分布於北花蓮至鳳林一帶，佈站時間為 2021 年 07 月 14 日至 2021 年 08 月 03 日，透過大量且密集的測站，使用此觀測網所選取的大量微震資料來分析該區域的孕震構造，於測站包覆性將可獲得更佳的结果，可用於地震定位以及震源機制解的分析上將更具可信度。本研究共使用 47 個測站，取樣率為 250 點/秒，透過多個地震測站的連續訊號去挑選微震訊號與其 P 波初動，加以定位且分析其微震震源機制解，進一步了解該區域的孕震構造以及地下構造幾何形貌。

關鍵字: 微震、密集地震網、盲斷層、震源機制解

Keywords: micro-seismic、Dense Seismic Network、Blind Fault、Focal Mechanism

學位與年級: 碩士班二年級

指導教授與就讀學校: 張文彥教授 & 東華自然資源與環境學系

E-mail 與手機號碼: 611054014@gms.ndhu.edu.tw

琉球隱沒帶M8情境地震之地震動模擬

楊詠晴¹、謝銘哲²

(1)國立中央大學地球科學系、(2)地震災害鏈風險評估及管理研究中心

摘要

根據歷史地震文獻記載，1920年台灣東部外海隱沒帶區域曾發生規模8地震，強烈地震動造成全台多處震災回報，倘若該起地震再次發生，震災不可同日而語。本研究即針對琉球隱沒帶區域設定規模8 (M8)之情境地震，擇定台灣東部作為目標場域，參考日本強地動預估作業準則(Recipe)擬定百種特徵震源模型，並考量兩組三維速度構造模型(包含KC3D: Kuo-Chen et al., 2012; HH3D: Huang et al., 2014)，透過三維有限差分法(finite-difference method, FDM)進行震波傳遞模擬，爾後將數值模擬產出之人工合成地震歷時轉換為地震工程常用之峰值地動速度、峰值地動加速度，以及1.0、3.0、5.0秒譜加速度等地震動參數。透過比較各種震源模型產出之地震動參數分佈，破裂方向性、地栓數量、地栓佔比、破裂速度等因素皆引致地震動量值分佈具明顯變化，其中以破裂方向性與破裂速度兩者為甚。本研究另將模擬結果與地震動模型(e.g., Chao et al., 2020)進行比較，整體而言，以破裂速度為2.4 km/s之震源模型群產出之譜加速度，較為接近地震動模型對3.0與5.0秒譜加速度預估曲線，而破裂速度為3 km/s之震源模型群產出之譜加速度則較為接近1.0秒譜加速度預估曲線，顯示模擬不同週期訊號對於檢核使用地震動模型進行預估具有敏感度；此外，以HH3D速度構造模擬譜加速度雖整體分佈形式與KC3D相似，但整體量值偏高，且分佈範圍較為分散。

【學生壁報比賽】參與者於摘要尾端註記

- (1) 就讀學校: 國立中央大學 / 指導教授: 謝銘哲
- (2) 學位: 學士 / 年級: 四年級
- (3) E-mail: caroll00914@gmail.com

台灣西南部古台南盆地三維大地應力分析

詹燕如，溫士忠¹

(1)國立中正大學，地球與環境科學系

摘要

位於台灣西南部的古台南盆地周遭至今發生了許多災害地震，例如 1906 年的梅山地震、1941 年的中埔地震、1946 年的新化地震、1999 年的嘉義地震等，因既有構造及活動斷層，當受到構造應力作用時會使此區域的地震活動頻繁，震源機制以走向滑移為主。過去的研究顯示台灣西南部的應力分析以二維為主，缺乏深度上的解釋，本研究以發生在台灣西南部的地震為資料來源，使用 Wen and Wang (2018)所發表的速度模型解算出來的震源機制解反演大地應力的三維分布，提供不同深度的應力分布訊息，探討台灣西南部不同深度下大地應力場和地震機制之間的關聯，並與二維應力分析做比較。從二維應力分析結果顯示， σ_1 大致呈西北-東南向至東西向，且由北至南有逆時鐘旋轉的趨勢； σ_3 大致呈南北向，由北至南呈逆時鐘旋轉。但從深度變化來看，三維應力分析的 σ_1 和 σ_3 的方向較不一致，可能與早期存在的構造有關。發生在古台南盆地附近的地震多為走向滑移機制，少數為逆斷層或正斷層機制，且震源機制解分布由淺至深具有向西傾斜的趨勢，淺層地震亦多分布在活動斷層周圍。所以綜上所述，就力學機制而言，形成兩組主要的應力位態之可能原因在於 σ_1/σ_2 、 σ_2/σ_3 交換的情形，此於野外觀測上實極為常見，其造成的原因主要來自於介質之非均質性或非均向性力學性質變化所致，此現象與從高分辨率地震層析成像結果發現地震活動與 V_p 和 V_p/V_s 值的急劇變化非常相關。

【學生壁報比賽】

- (1) 就讀學校：國立中正大學 / 指導教授：溫士忠
- (2) 學位/年級：大四
- (3) E-mail：cyenju1117@gmail.com

台灣西南部高密度陣列之微震重定位及應力分析

蔡威台、溫士忠、黃有志

國立中正大學地球與環境科學系、國家地震工程研究中心

摘要

台灣地區位處歐亞板塊與菲律賓海板塊劇烈碰撞帶，在造山帶變形前緣發育一系列覆瓦狀褶皺衝斷帶。位於台灣西南部的觸口斷層是褶皺逆衝帶與西部平原之間的顯著邊界。台灣西南部的大部分地震活動都與這條斷層及其附近的斷層系統有關同滑移運動的複雜斷層系統之間的相互作用，研究此區的孕震帶特徵是重要的防災課題。由於台灣西南部地區存在許多活動斷層，雖然近期發生有感地震的次數不及台灣東部地區，但因為人口眾多且許久未發生中大型地震，為了更好地了解此區斷層帶的孕震特徵，因此有必要對其發震構造和區域應力分布進行詳細的研究。本研究採用了在西部麓山帶前緣布設的密集地震儀陣列及周邊的寬頻測站，所收錄到的地震目錄，使用雙差分地震定位法進行重新定位，提高震源位置的解析度。重定位後的地震事件將用於震源機制研究及區域應力場分析，由於使用的地震事件發生在陣列覆蓋區域及周圍，因此採用E-P-N波初動法獲得震源機制解。透過震源機制和應力的分析，斜逆衝斷層與走滑斷層破裂型態分布於研究區內。本研究認為這種現象是由高度破碎的上部地殼斷層破裂的發展造成的，所以隨時間變化的動態應力場可以沿著幾個不同方向的斷裂系統觸發附近預先存在的斷層。可以得知西部麓山帶前緣地區是否存在未被發現的孕震構造，若能結合地質和層析成像的結果，甚至能了解這些斷層構造的分布情形，以及未來可能之高地震潛勢區域。

國立中正大學/溫士忠教授、黃有志副研究員

碩士一年級

leo881018kd@gmail.com

琉球隱沒帶最南端地殼應力隨慢滑移事件同步時間變化

賴泳在¹、陳冠翔¹、吳逸民¹

(1) 國立臺灣大學地質科學研究所

摘要

本研究主要研究對象慢滑移事件，在全球大型隱沒帶中都能看到其蹤影。儘管其釋放能量的速率非常緩慢，但總釋放能量卻能與大地震相仿。Warren-Smith et al. (2019) 發現在紐西蘭北島東岸的慢滑移事件與隱沒帶的應力變化有密切關聯，然而此關聯該如何確定仍然眾說紛紜。本研究著重在琉球隱沒帶最南端慢滑移事件活動時與其週遭地殼應力在時間上的同步變化，以Chen et al. (2018) 建立的三次慢滑移事件(SSE1:2005年4至6月，SSE2:2009年6至10月，SSE3:2015年8至11月)滑動範圍為研究區域，並以地震累積規模分布(b值)時間序列作為地殼應力隨時間變化指標，以震源機制解P-T軸方位角時間序列作為地殼應力主軸方向指標，比較慢滑移事件期間相對於背景應力產生的變化。本研究分析2004至2020年中研院地球科學研究所(IES)GNSS觀測網、中央氣象局寬頻地震網(CWBSN)重定位地震目錄、以及Wu et al. (2008)的P波初動震源機制解，以GNSS資料嘗試更精準估計出慢滑移事件啟動及結束時間點，並以重定位地震目錄計算b值隨時間變化。在空間上以慢滑移事件滑動範圍決定地震選取條件時，以地震數量滿足最小完整規模(M_c)閾值作為時間窗計算依據，以期提升整體時間序列解析度。P-T軸方位角變化以b值分析相同空間範圍選取品質良好的震源機制解計算方位角與誤差，觀察慢滑移期間是否有應力同步變化。

初步結果顯示研究區域背景b值介於0.8至1.0之間、P軸方位角隨時間分布介於 100° 到 150° 之間、T軸方位角則沒有明顯集中現象。在慢滑移滑動區域可以在三次滑移期間觀察到b值降低至0.5與0.6之間訊號，並在事件結束後回復到背景b值。而P軸方位角在SSE1事件期間可觀察到約至少 20° 改變，T軸方位角在三次SSE事件期間似乎較集中分布於 250° 至 300° 之間。未來將測試不同時空地震事件數量與規模大小選取條件，進一步分析時間窗隨時間移動程度對觀察結果差異性程度，並加入中研院地球所寬頻地震網(BATS)震源機制解資料，討論慢滑移事件同步發生的應力變化對琉球隱沒帶地震活動與週期的可能影響。

(1) 國立臺灣大學/吳逸民教授

(2) 碩士生/二年級

(3) lai2570@gmail.com

考慮破裂方向性參數之強地動模型(GMM)測試

翁靖婷¹、郭俊翔¹、黃信樺²、趙書賢³

(1)國立中央大學地球科學系、(2)中央研究院地球科學研究所、(3)國家地震工程研究中心

摘要

台灣位在地震頻繁的板塊交界處，各種耐震設計或地震災害評估中，常需要評估各地的地振動大小，強地動模型(GMM)是廣泛使用做為評估地動值的方法，即可實現此一目的。當一個較大規模的地震發生時，強地動特性會造成最大地動值(PGA、PGV)提高、震度增加，其中在近斷層區域常會受震源破裂方向性影響，若在地動預估過程中未加以考慮，破裂前進方向上的地動值可能會被嚴重低估，因此本研究的目的是探討一般GMM與其適當地結合破裂方向性參數後，對PGA和PGV預估能力之差異。本研究中使用Chao et al. (2020)所提出的GMM，以及Chao et al. (2019)所建立的方向性函數，破裂方向性函數之參數包括：1. 破裂速度與剪力波速比(r_v)、2. 單側破裂百分比係數(e)、3. 主要和次要破裂方向之間的偏差角(θ)，期望可以透過考慮破裂方向性參數，得到更好的地振動預估結果。

- 就讀學校：國立中央大學
- 指導教授：郭俊翔教授
- 學位/年級：碩士一年級
- E-mail：wengjingting1004@gmail.com

Dynamic characteristics of TAIPEI 101: From monitoring to prediction of ambient vibration

Yaochieh Chen (陳耀傑)^{1,2}, Philippe Guéguen², Bor-Shouh Huang³, Chin-Jen Lin³, Win-Gee Huang³, Chin-Shang Ku³, Yi-hung Liu⁴, Kate Huihsuan Chen²

(1) Department of Earth Sciences, National Taiwan Normal University, Taiwan、(2) ISTerre, Universitaire de Grenoble, Grenoble 38000, France、(3) Department of Earth Sciences, Academia Sinica, Taiwan、(3) Department of Mechanical Engineering, National Taiwan Technology University, Taiwan

Abstract

Continuous data streams from translational and rotational seismometers installed in TAIPEI 101 enable monitoring of the natural frequencies on different time scales. Using the 2014 seismic data recorded on the 90th floor of this high-rise building and the meteorological data from a weather station located just 1 km away, we explored the characteristics and controlling factors of the ambient vibrations in TAIPEI 101. Using the random decrement technique, the three modal frequencies in translation were identified as 0.15 Hz (F1), 0.43 Hz (F2), and 0.78 Hz (F3). For rotation around the vertical axis, the modal frequencies were 0.23 Hz (R1), 0.59 Hz (R2), and 0.93 Hz (R3). In translation, TAIPEI 101 exhibits a trend of increasing modal frequency with increasing temperature but decreasing modal frequency with increasing wind velocity. The trend with temperature is reversed in rotation motion. The different frequency versus temperature relationship seen for rotational and translational motion demonstrates the importance of introducing rotational motion analysis into structural health monitoring. The change in modal frequencies were also found to reduce with growing amplitude. It is intriguing that F1 exhibits a weaker dependency with amplitude with respect to the higher modes, which may be associated with the suppression of F1 vibration due to the damper installed in TAIPEI 101. Other than long-term (seasonable) variation, we also highlight the hourly variation of the first mode amplitude throughout a day by comparing with weather and mobility data. Other than the atmospheric conditions that strongly influence the modal frequencies in long-term behavior, we found that the human activities may play an important role in the short-term vibration characteristics of the building.

(1) National Taiwan Normal University/Kate Huihsuan Chen
(2) PhD candidate/ 6th year
(3) yaochieh77@gmail.com

Exploring the spatiotemporal properties of the first higher-mode ambient noise Rayleigh wave in Taiwan

Chun-Fu Liao¹、Ying-Nien Chen¹

(1) Department of Earth and Environmental Sciences, National Chung Cheng University

Abstract

Resulting from everlasting energy coupling between ocean waves and solid earth, microseisms are dominant signals in seismic records. Applying seismic data to noise interferometry, previous studies have shown that the ambient noise observed in Taiwan is dominant by fundamental mode surface waves in the frequency band 0.2-0.5 Hz, namely, short period secondary microseism (SPSM). However, under particular weather conditions and geological structures, numerous studies had reported that body waves and higher-mode surface waves could be generated efficiently. Taking advantage of the diversity of geology and bathymetry of Taiwan, we aim to investigate the excitation mechanism from the spatiotemporal distribution of higher-mode ambient noise surface waves. This study shows that the 1st higher-mode and fundamental mode Rayleigh waves could coexist in the SPSM frequency band. The temporal excitations of the 1st higher-mode Rayleigh wave are closely related to the monsoon system, while the characteristics of spatial distribution are sensitive to the sedimentary structures. Moreover, with dispersion curve measurements, we show that the published velocity models of Taiwan island tend to overestimate velocities of shallow crust in western plains. Based on the new dataset proposed in this study, we could probe shallow structures in detail in a near future.

(1) National Chung Cheng University / Ying-Nien Chen

(2) Ph.D./7th

(3) tofu416@hotmail.com

Excitation and seasonal variation of seafloor infragravity waves observed at OBS stations

Hou-Sheng Cheng¹, Emmy T. Y. Chang¹, Yuancheng Gung²

¹Institute of Oceanography, Nation Taiwan University, Taipei, Taiwan

²Department of Geosciences, Nation Taiwan University, Taipei, Taiwan

Abstract

Infragravity waves (IGWs) are low-frequency ocean waves for 30 seconds or longer and can travel great distances without losing energy. They are typically generated by the non-linear interaction of ocean waves and modulated by water depth. IGWs play a role in ocean dynamics and significantly impact coastal hydro-sedimentary dynamics and ice-shelf collapse. Because IGWs will generate a detectable seafloor signal across the ocean, the seafloor seismic observations can provide long-term monitoring of IGW energy. We analyzed the IGWs recorded at the 45 ocean bottom seismometers of the Dense Oceanfloor Network System for Earthquakes and Tsunamis (DONET). The spectral analysis applied to the DONET seismograms shows that the main frequency band of the IGWs recorded at DONET stations is within 0.005 and 0.03 Hz. Furthermore, the strength of IGWs exhibits an annual variation. Through the DONET data, IGWs' energy is relatively vital in winter and low in summer. The peak frequencies of IGWs show a systematical decrease with increasing water depth. Using the dispersion relation, we retrieve the phase velocities of the peak IGWs ranging from 81 to 153 m/sec for the sites within the forearc basin and along the continental slope. We calculate the incoming direction and phase velocities of IGWs by employing the beamforming algorithm with cross-correlation functions. We use bathymetric relief to form wave dispersion and calculate the theoretical group velocity. The ray path is retrieved by solving the eikonal equation to each grid, and then we can locate the excitation of IGWs. With the DONET seismograms, we reproduced the evolution of daily excitation locations from 2017 to 2018. For the northern Nankai trough location, the IGWs primarily originate from the western coast of South America. Minor energy of IGWs can be converted from the coast of the Aleutian islands. Furthermore, tropical cyclones will generate local-to-regional event-type excitations that last for a limited time.

(1) National Taiwan University / Emmy T. Y. Chang

(2) Ph. D. student / 4 years

(3) dw7532146@hotmail.com.tw

Retrieval of Green's Function through Ambient Noise Seismic Interferometry Using Deep Ocean Pressure Sensors

Kun-Chi Ho¹ and Justin Yen-Ting Ko¹

Institute of Oceanography, National Taiwan University

Abstract

Through ambient noise seismic interferometry, we computed cross-correlation functions of ambient noise time-series from two seismic stations to approximate the Green's function, which describes how seismic waves propagate between these stations. In this study, we successfully derived the Green's function using a 10-year dataset of ocean bottom pressure sensors obtained from the Deep-ocean Assessment and Reporting of Tsunami (DART) system in the Pacific Ocean. The retrieved Green's function corresponded to the period of the infra-gravity waves, which exhibit similar propagating behavior to tsunami waves. Our analysis revealed a strong correlation between water depth and estimated propagation velocity, indicating that faster propagation velocities can be measured in deeper ocean depths. We filtered the Green's function to frequencies similar to those of tsunami waves, enabling us to investigate potential arrival time and propagation of tsunami waves. We compared the Green's function to real tsunami data to assess its coherence with the propagation of tsunami waves. Future goals for this study include comparing the Green's function to the Cornell Multi-grid Coupled Tsunami Model (COMCOT), exploring potential locations and directions of noise sources for the Green's function using back-projection or beamforming techniques, and observing seasonal variations of the Green's function.

Keywords: Ambient noise, Cross-correlation function, Green's function, Tsunami waves, Infra-gravity waves

(1) National Taiwan University / Justin Yen-Ting Ko

(2) Master Degree / First year

(3) frank890530@gmail.com

Source Characterization of Microseismic Noise in the Northern Okinawa Trough-Ryukyu Arc-Trench System from Ocean Bottom Seismometer ObservationsLalit Arya¹, Shu-Huei Hung¹, Ramakrushna Reddy¹, Ban-Yuan Kuo², Ching-Ren Lin²

1. Department of Geosciences, National Taiwan University
2. Institute of Earth Sciences, Academia Sinica

Microseisms are mainly generated by the coupling of ocean gravity waves with seafloor. Studying their source characterization from ocean bottom seismometers (OBSs) would disclose the noise behaviour, genesis and underlying mechanism more comprehensively than land stations. In this study we investigate the spatiotemporal distributions of microseism sources in the Northern Okinawa Trough-Ryukyu subduction zone using continuous 3-component broadband data recorded by 24 OBSs and 9 publicly available land-based stations combining the significant wave height (SWH) model data from ERA5 of the European Environment Agency. By computing the probability density function (PDF) and power spectral density (PSD) of the vertical-component data of each station, we observe the two peaks which correspond to the dominant periods of double-frequency microseism (DFM) and single-frequency microseism (SFM) at 2-10 s and 10-20 s, respectively. The peak frequency and average power of DFM and SFM vary significantly from station to station. Besides, the DFM is split into the short-period (2-6 s) and long-period (6-10 s) DF, referred as to SPDF and LPDF, respectively. The peak periods of the SPDF at different stations also vary between 2-4 s and 4-6 s, indicating the superposition of the microseismic energy generated from various source regions. To identify their potential source locations, we perform a frequency-dependent polarization analysis and calculate spatial cross-correlation coefficients of the time-varying PSDs obtained at each station with the SWHs globally. Both the results reveal that apart from the contribution of distant sources, locally generated microseisms nearby the stations are prevalent. This finding implies that when either the near- or far-field noise from the marginal seas (i.e., South China Sea, East China Sea, Sea of Japan) of the Western Pacific on the west or the wide Pacific Ocean on the east enters the Ryukyu subduction system, it would spread in all possible directions depending on the local seabed conditions.

Seismic signature of landslide dam breaching and possible early warnings.

Shu-Yun Yang¹, Wei-An Chao^{1,2}

¹Department of Civil Engineering, National Yang Ming Chiao Tung University, Hsinchu 300, Taiwan

²Disaster Prevention and Water Environment Research Centre, National Yang- Ming Chiao Tung University, Hsinchu 300, Taiwan

Abstract

In Taiwan, a landslide dam formed on February 4, 2021 in the Danan River. The landslide dam partially breached on August 7, 2021, and completely broke in October 2021. In the event of a dam failure, the downstream influence area includes residents along the river of Tongxin Village, the power plant, and an important artificial channel to transport farmland around Tongxin Village for irrigation (Fig.1). Therefore, real-time monitoring of dam failure is needed to provide early warnings of impending floods. The traditional monitoring method is to install a water level gauge behind the landslide dam for emergency response. However, it is impossible to establish a water gauge monitoring system on site because landslides usually occur in rugged mountainous areas. In this study, seismic analysis is adopted to capture seismic signals possibly caused by landslide dam failure and to track the location of flooding after landslide dam failure (Fig.2). After the formation of the landslide dam, a real-time broadband velocity-type seismometer station (DALB) was deployed on the top of a mountain with a horizontal distance of 1.64 km from the river channel and an elevation of 650 m relative to the riverbed, and two Geophones stations (DALU, DALD) were installed in the midstream and downstream within 200 m of the river channel. The distance between DALB and DALD along the river is 11.9 km, combined the difference between the arrival time of seismic waves $t_1^{DALD} - t_1^{DALB}$ and $t_2^{DALD} - t_2^{DALB}$, can estimated an apparent flow velocity of 7.3 m/s and 8.2 m/s. Our studies can provide an early warning of 20~30 minutes to the downstream (Fig.3). Finally, by using riverine seismic signals, the time point of dam breaching can be determined. Overall, the results of the time-frequency analysis can be used to the dam failure at the upstream DALB station, and the source mechanism in the generation of the seismic signal recorded at the DALU and DALD was possibly caused by the flooding and/or debris flow.

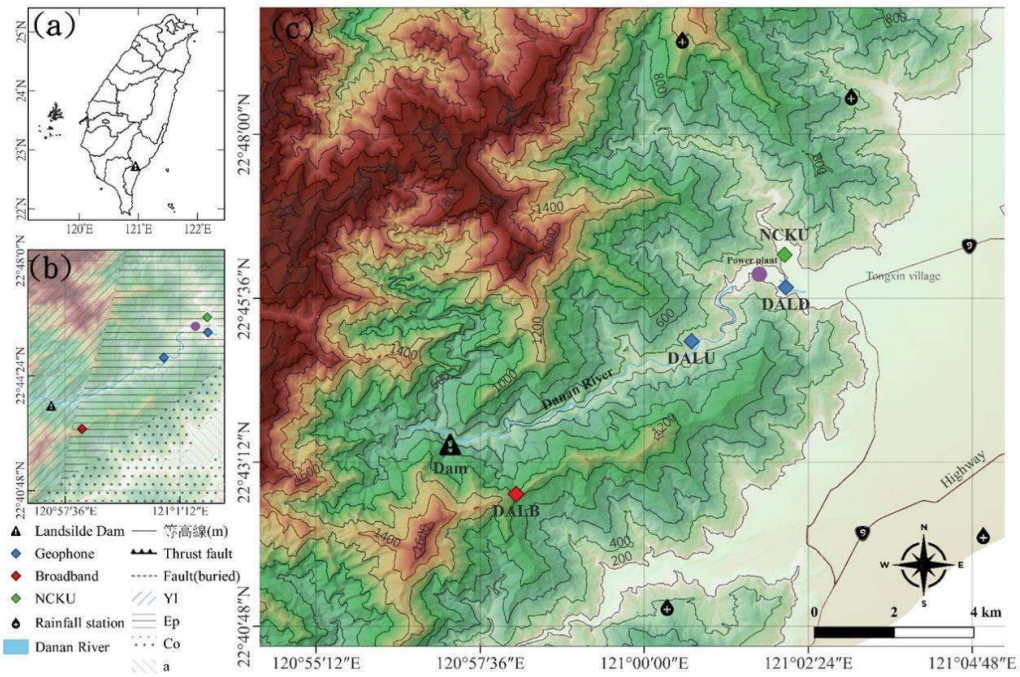


Fig.1 (a) Location of Landslide dam. (b) Regional geological map that includes strata and geological structures. Yl: Late Paleozoic to Mesozoic Yuli Formation; Ep: Eocene Pilushan Formation; Co: Middle Miocene Chaochou Formation; a: Holocene alluvium. (c) Topographic map with the location of landslide dam, seismic stations, Tongxin power plant, village, and nearby rain gauges.

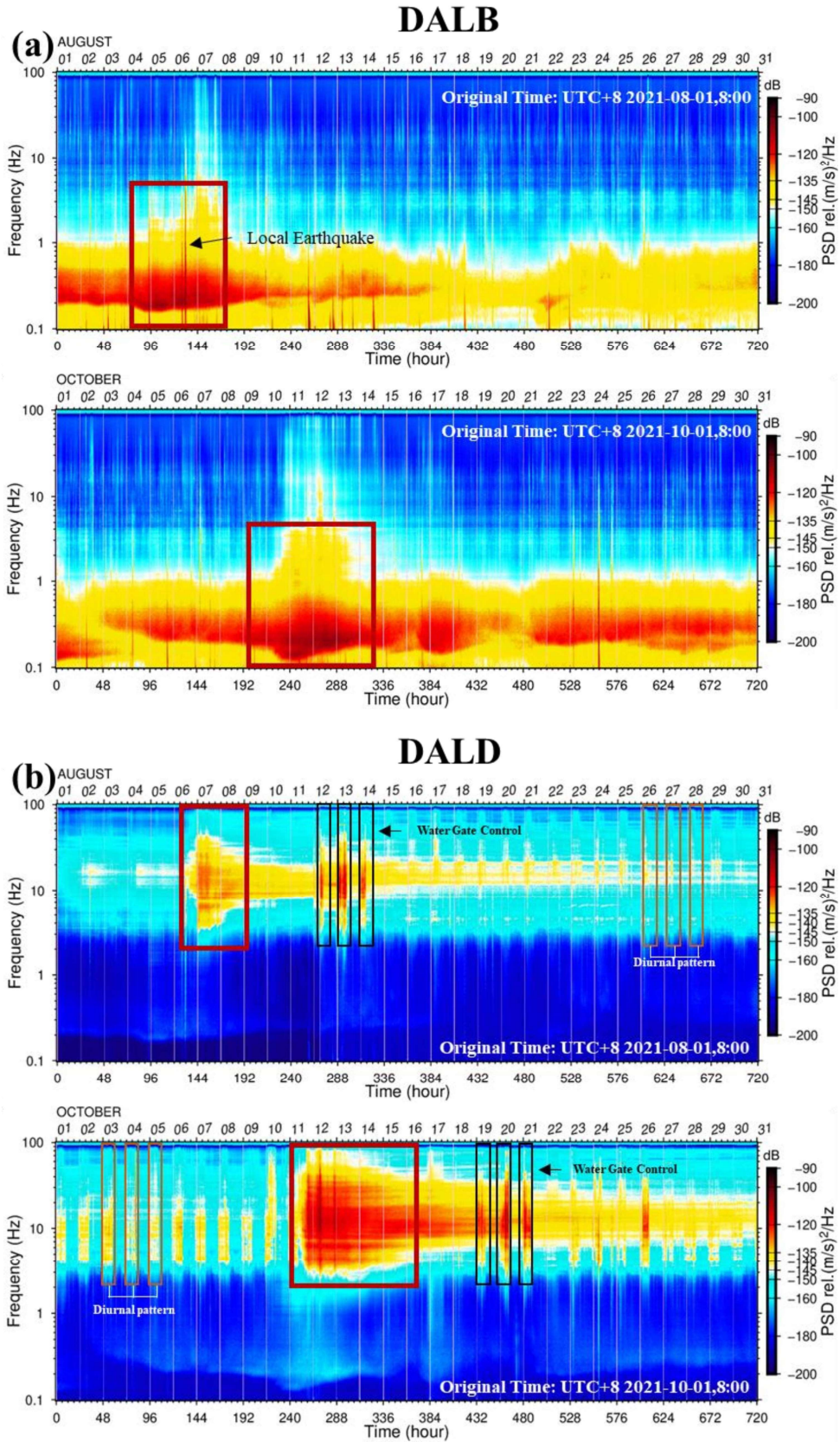
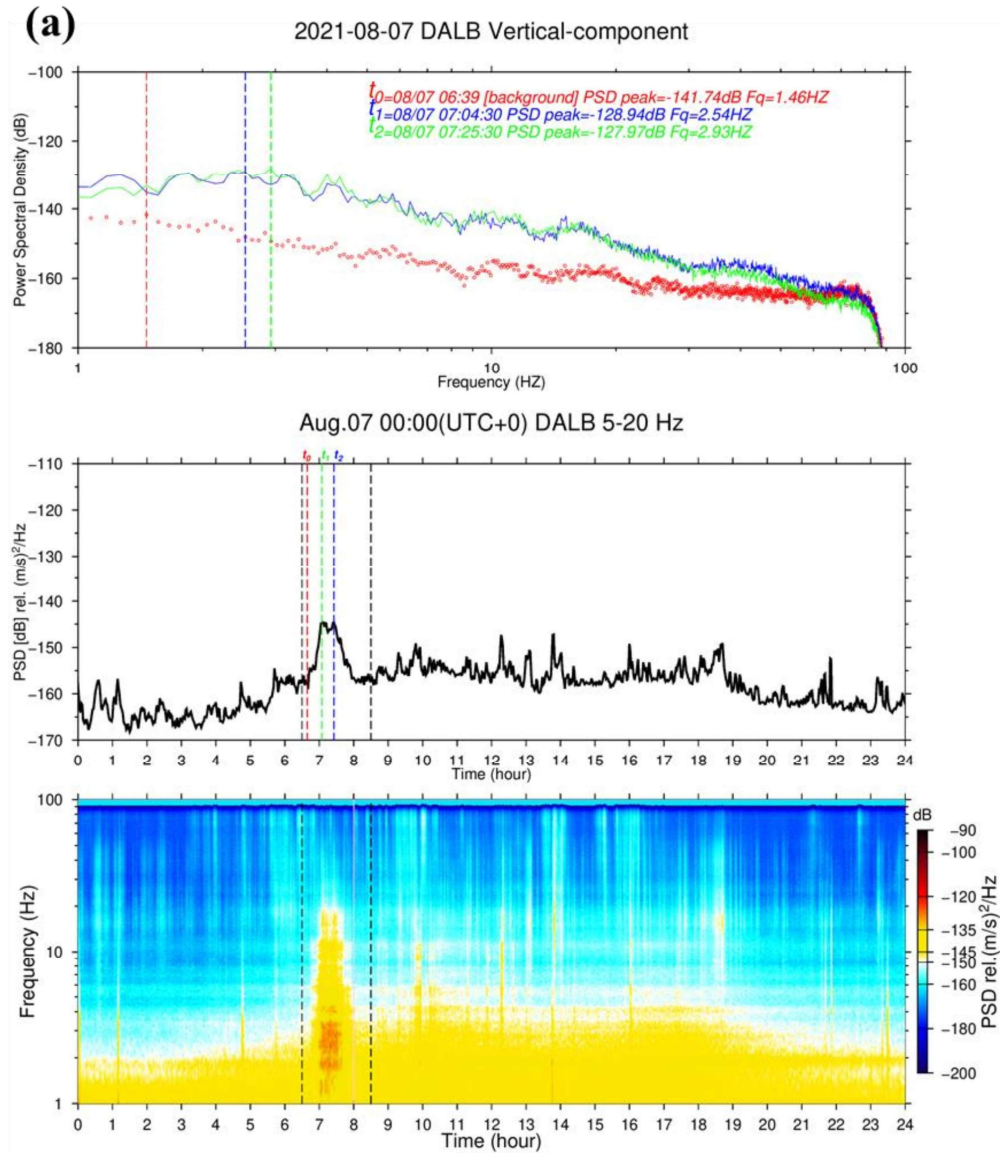


Fig.2 Spectrograms of (a) DALB and (b) DALD for partially breached in August, 2021, and (b)completely broke in October 2021. The red rectangles are seismic signals related to dam breaching and flooding. The orange rectangles show the signals caused by human activity.



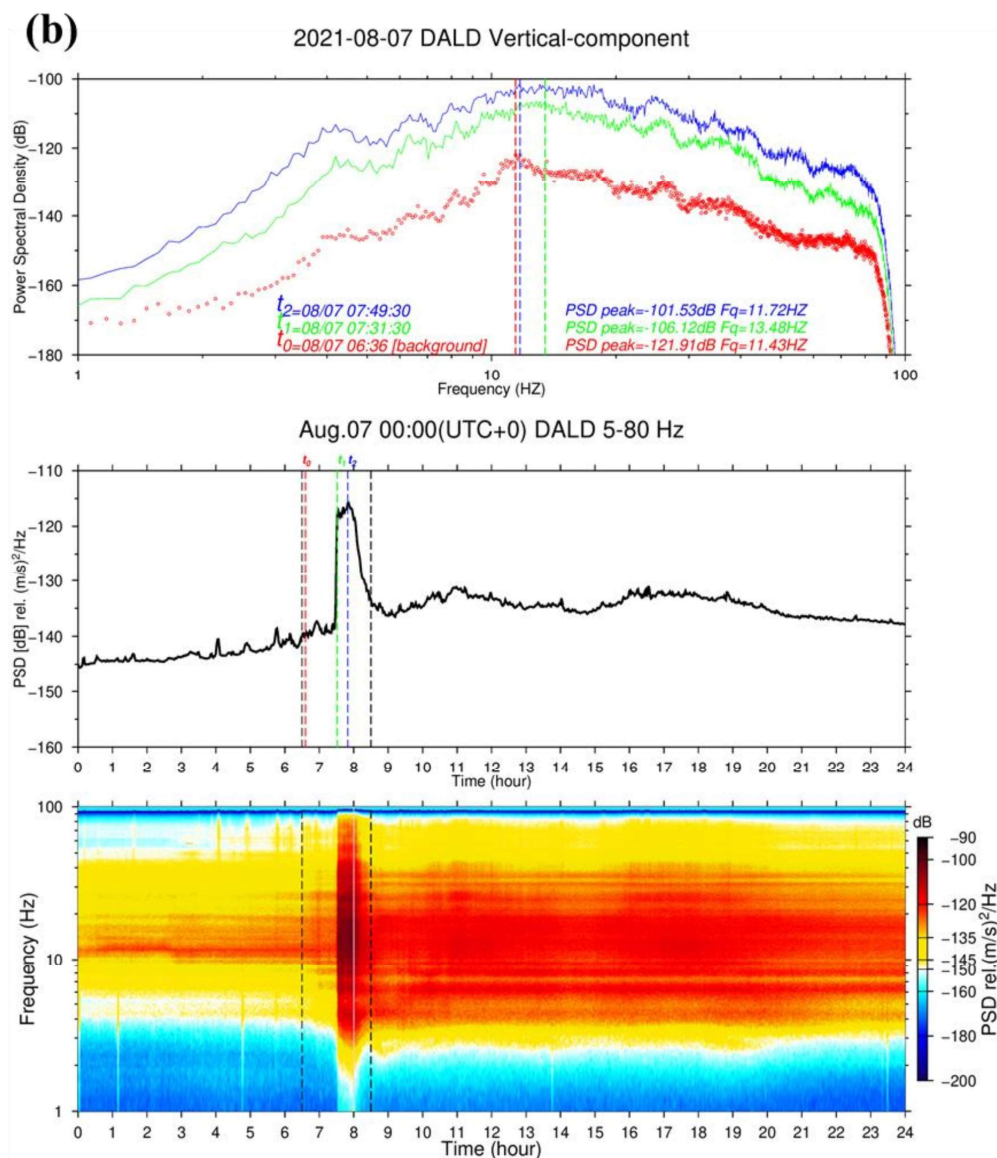


Fig.3 Spectrum, PSD time series and spectrogram of (a) DLAB and (b) DALD vertical lines indicate the specific time points which are manually picked.

Key words: landslide dam 、Danan River 、early warnings 、 seismic analysis 、 flow velocity

- (1) National Yang Ming Chiao Tung University/ Wei-An Chao
- (2) Master's degree / Second
- (3) eric12311211@gmail.com

Seismic constraints on sediment budget for a mountainous catchment

Zhen-Yu, Wu¹、Wei-An Chao^{1,2}、Chi-Yao Hung³

¹ Department of Civil Engineering, National Yang Ming Chiao Tung University, Hsinchu 30010, Taiwan.

² Disaster Prevention and Water Environment Research Center, National Yang Ming Chiao Tung University, Hsinchu 30010, Taiwan.

³ Department of Soil and Water Conservation, National Chung Hsing University, Taichung 40227, Taiwan.

¹ bbb310612202.en10@nycu.edu.tw

² vvnchao@gmail.com

³ cyhung@nchu.edu.tw

Abstract

In the steep mountain catchment, measuring the budget change of soil and sediment has always been a great challenge. Results of recent research have shown that the seismic station nearby river channels can capture seismic signals cause by different mechanisms such as water flow, sediment transport, and debris flow. Among them, river sediment transport and the debris flow have a more serious impact on the sediment mass distribution of river bed. This study site 4 stations were installed at the confluence of the Putanpunuas River and the Laonong River, which was named the Putanpunuas seismic array (PSA). In this study, we first manually classified the detected events into 2 types based on their signal duration: Type A with a duration of $\Delta T \leq 3$ hr, and Type B with a duration of $\Delta T > 3$ hr. Based on the temporal changes in the erosion and deposition volume of the alluvial fan obtained from DEM, in the time intervals of 2019,06/02-07/02 and 07/02-07/17, the volume change observed during the first time period was $-4.33 \times 10^4 \text{m}^3$ (negative indicates erosion process), which may be caused by the 4 events of Type A. All events exhibit the source duration larger than 1 hour and the lowest frequency extended to 2.5Hz. In contrast to first time period, the deposition volume of $1.28 \times 10^4 \text{m}^3$ during second period was not only contributed by the 12 events of Type A but also influenced by the 5 events of Type B. In the case of Type B, their source durations exceeded 5 hours within a lowest frequency of 2Hz. By using a digital elevation model (DEM) of alluvial fan, time-lapse images, time-frequency analysis of seismic signals (Figure 1), and the seismic physical models for different mechanisms (turbulent flow, bed saltation, debris flow), our study not only effectively monitor sediment transport but also provide better understanding on sediment budget in the catchment area. Temporal changes in erosion and deposition volume of the downstream alluvial fan were used to validate above seismology-based results.

Key words: seismic signal、sediment budget、time-frequency analysis、

Putanpunuas River、volume change

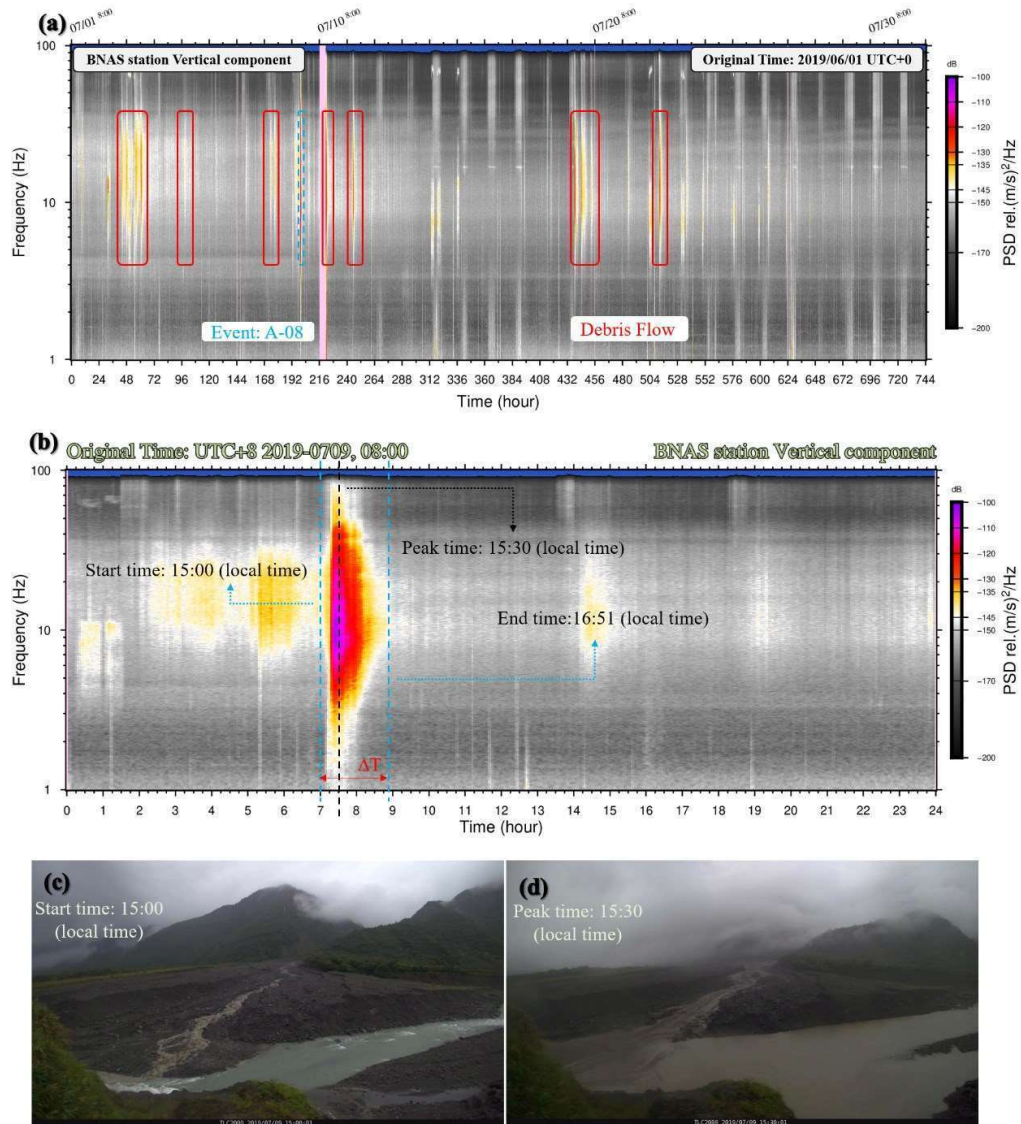


Figure 1 Spectrogram in (a) July 2019 and one debris flow (Event A-08) in the afternoon on 9th July 2019. The red rectangular in (a) shown debris flows dominated the frequency band between 3-40Hz. Each event was normally lasting one hour(ΔT is the difference between the end time and the start time.) with triangular shape feature. (c) the Putanpunuas River alluvial fan before Event A-08 occurred.(d) the alluvial fan when the strongest seismic signals of Event A-08 occurred

- (1) National Yang Ming Chiao Tung University / Wei-An Chao
- (2) master / the second year
- (3) bbb310612202.en10@nycu.edu.tw

城市地震學：台北市區環境振動之分群特性

何其恩¹、陳卉瑄¹、林正洪²、賴雅娟³、史旻弘³

(1) 國立台灣師範大學地球科學系、(2) 中研院地球科學研究所、(3) 國家地震工程研究中心

摘要

隨著地震儀器的密集，連續振動資料大量地累積，除了紀錄了構造地震外，也包含人類活動造成的環境振動：短至數秒的爆炸事件、飛機墜毀、重大車禍，長至數十分鐘的長微震和土石流事件，皆在此範疇。這些環境中的不同種類振動事件，對社會和經濟造成一定衝擊，尤其對微小震動高度敏感的半導體產業。如果能夠準確的分類這些訊號，將有助於我們理解微地動的特徵及成因。本研究利用2019年2月福爾摩沙陣列台北地區14個測站的連續訊號，以5秒為時間窗格進行主成分分析（Principal Component Analysis, PCA）並降維後，我們使用高斯混合模型（Gaussian mixture model, GMM）進行分類，目的在回答：記錄著環境背景震動的連續資料中，有多少訊號能被系統性地偵測與分類？而發生的原因各自為何？

利用赤池訊息量準則（Akaike information criterion, 簡稱AIC）進行分析，我們發現台北市的連續振動資料可分成13群，依據其時間分佈特徵，進一步可統整成4個類別：(1)集中發生於日間 (2)集中發生於主夜間 (3)日夜平均發生 (4)發生時間並無特定集中性。四大類別的功率譜密度特性皆集中在2Hz或10Hz，和「日間集中」類別的雙峰特徵(2 Hz, 10 Hz)不同，「夜間集中」的類別在10 Hz的能量峰並不顯著，說明車流量頻繁度可能決定了交通訊號對應的頻率特性。

而空間的集中性反應在幾個特定的類別，舉例來說，第一類別中有幾群集中在發生在CT08及CT11測站，此兩測站分別毗鄰仁愛圓環與秀朗橋：在平日、假日的事件數沒有明顯區別，並且功率譜密度在10Hz集中；第二個類別的特定分群集中在CT09，假日的頻繁度高於平日，而功率譜密度則集中於0.2-0.4Hz。依據振幅、頻率和時間空間特性，本研究期釐清城市中環境振動的分群特徵和背後物理特徵，未來在監測、去噪等研究工作可望帶來更好的資料品質。

關鍵詞：城市地震學、環境振動、機器學習、福爾摩沙陣列、高斯混合模型

【學生壁報比賽】

- (1) 國立臺灣師範大學地球科學系/陳卉瑄
- (2) 碩士班/一年級
- (3) jj88090349@gmail.com

中央氣象局井下地震儀 2020 背景雜訊分析

許祐謙¹、林彥宇^{2,3}

(1)國立中央大學地球科學院學士班

(2)國立中央大學地球科學系

(3)國立中央大學地震災害鍊風險評估及管理研究中心

摘要

地震儀記錄地震波形，為地震學家研究地震源及地球內部構造不可或缺的觀測工具。然其對地震之偵測能力與背景雜訊水平負相關，因此瞭解台灣地區之背景雜訊為重要議題。背景雜訊來自多個方面，如人為活動、自然環境和設備本身雜訊等。背景雜訊對井下地震儀測量結果的影響是非常大的，它會導致地震信號被掩蓋或者變形，使得地震記錄波形無法使用。因此，為了降低背景雜訊的影響，選擇安靜的山區設站或設置井下地震儀為目前首選。中央氣象局於 2006 年開始安裝井下地震儀並併入中央氣象局地震觀測網(Central Weather Bureau Seismic Network, 簡稱 CWBSN)。本研究旨在分析井下地震儀觀測網之背景雜訊，並得出全台灣之井下地震儀地震雜訊特徵。我們使用中央氣象局地震觀測網(CWBSN)的 2020 年井下地震儀資料，利用快速傅立葉轉換將地震資料轉換為各個頻段的分貝值，再繪製出每個測站不同月份、不同季節以及全年度之功率譜密度之機率密度函數圖 (Probabilistic Power Spectral Density, 簡稱 PPSD)。透過分析每個測站在不同時段及不同頻率的分貝分布及變化，瞭解台灣地區背景雜訊的區域分布，以及季節變化和人為因素對其影響和原因，同時也能檢驗各個測站觀測數據的品質。本研究成果將提供地震學社群對台灣地區地震觀測能力之重要參考。

- (1) 就讀學校/指導教授：國立中央大學 / 林彥宇 助理教授
- (2) 學位/年級：地球科學院學士班 / 大四
- (3) E-mail/手機號碼：oscarhsu720@gmail.com

利用噪訊層析成像法研究台南地區褶皺逆衝帶淺層地下速度構造 Shallow velocity structure of Tainan fold-thrust belt based on ambient noise tomography

楊子誠¹、陳映年²、廖峻甫²、吳澄峰¹、饒瑞鈞¹

(1)國立成功大學、(2)國立中正大學

摘 要

本研究利用噪訊層析成像(Ambient Noise Tomography)法得到台南地區的淺層速度構造，我們在 2021 年 2 月到 6 月間在台南地區擺放了由 173 個地震儀組成的 30x40 公里平方的密集陣列，站間距約為 1~3 公里，總共產生 14878 個測站配對。透過兩兩測站對之間連續紀錄的互相關建立雷利波經驗格林函數，可得到台南地區 3-5 公里深度剪切波速度模型。在初步的研究中，我們取了 62 個觀測時間超過 100 天的測站，並且加上 34 個中央氣象局 TSMIP 的連續強地動觀測站，組成的 96 個測站陣列，量測整個研究區域的群速度，分為以下四個構造區由群速度快到慢來討論: 1. 中洲台地，淺層 3 公里速度約為 1.2 km/s，是整個研究區域速度最快的地方；2. 台南台地，淺層速度約為 1.1 km/s，是第二快的區域；3. 安平平原大約 0.6km/s；4. 大灣低地則大約是 0.5km/s，是整個台南地區速度最慢的地方。從上述的四點我們可以觀察到，大灣低地與安平平原速度較慢；台南台地與中洲台地速度較快。大灣與安平這兩個區域淺層速度構造為較鬆軟的區域，所以波傳到達時速度也會相對較慢，造成振幅的放大，尤其 2016 美濃地震維冠金龍大樓倒塌正是位於大灣低地處，而在台南台地與中洲台地，從中油的鑽井結果所判斷是下方的泥岩層受應力擠壓，形成泥貫入體向上拱起所造成，所以也就是速度相較其他兩處較快的原因。

【學生壁報比賽】參與者於摘要尾端註記

- (1) 國立成功大學/饒瑞鈞
- (2) 碩士/一年級
- (3) david2000713@gmail.com

利用噪訊自對比方法探討台灣西南部泥岩區構造特 性:以高雄新養女湖為例

薛誠曜¹、溫士忠¹、陳映年¹、溫怡瑛¹

(1)國立中正大學地震研究所

摘要

利用地震噪訊干涉方法對觀測到的地震波訊號進行自對比能夠得到相當於零支距(即測站正下方)的反射響應。這項將地震儀同時作為虛擬震源及受波器的技術,顯示出並不需要地震事件或是人工震源,僅需依靠適合的噪訊頻段便能了解地下構造的特性,節省了探勘成本並為無震地區提供良好的訊號源。由於體波的反射響應對於介質的波傳速度變化相當敏感,先前便有需多研究利用此特性了解地底下的不同尺度的構造邊界分布(如:破碎帶、流體、礦脈、岩盤甚至是地殼等)。

由於臺灣西南部造山前緣地帶的活動構造發育機制,包含泥貫入體的發育與逆衝斷層及其背衝斷層所造成的台南台地上拱作用兩種解釋。然而本區域中泥貫入體的存在與否有相當大的存疑並和當地的活動構造發育機制的解釋息息相關。本研究探討的高雄新養女湖地區即為在臺灣西南部造山帶前緣且周圍有旗山斷層及車瓜林斷層通過。為了探討本區域複雜的構造特性,本研究利用短期架設的便攜式三分量地震儀紀錄,企圖對地底下構造進行成像,並探討在不同頻段下所能反映出不同深度的反射訊號之解析度。希冀研究結果能建構出研究區域內地下三維的構造模型,進而得知地底下較高解析度的構造邊界。而未來則再更進一步透過震波模擬試圖建構出局部的速度構造模型,以探討過去研究對當地地下構造解析不一致的問題,並釐清臺灣西南部造山帶前緣複雜構造特性。

【學生壁報比賽】參與者於摘要尾端註記

- (1) 就讀學校:國立中正大學/指導教授:溫士忠
- (2) 學位:碩士/年級:一年級
- (3) E-mail:chenyawxue@gmail.com

The 2007-2016 spatio-temporal characteristics of tectonic tremors in southern Central Range, Taiwan

Hua Yi-Chu¹ · Kate Huihsuan Chen¹

(1) Department of Earth Sciences, National Taiwan Normal University

Abstract

By updating the tremor catalog from 2007 to 2016, we attempt to establish spatio-temporal characteristics of tectonic tremors in Taiwan. During these 10 years, 1926 tremor events with durations ranging from 100 to 3053 s were identified and located. The spectral analysis of the tremor times reveals several sharp peaks that correlate with the annual, semidiurnal, and diurnal constituents, indicating a strong tidal and seasonal modulation, as previously documented. In order to measure the sensitivity to tidal stress, the histogram showing the tidal induced shear and normal stress distribution at the time of tremor are performed, following the method proposed by Yabe *et al.* (2015). As the tidal sensitivity represented by a constant α ranging from 0 to 1 (higher sensitivity, higher α), we found that the tremors in Taiwan reveals high α around 0.7. Comparing with other areas such as Nankai and Cascadia ($\alpha = 0.41$ and 0.38 , respectively), our result suggest a specific physical environment allowing the strong tidal modulation. We also compare the tremor activity with precipitation, groundwater, and air pressure, which shows high correlation with hydrological and atmospheric periodicity, indicating the tremor in Taiwan is much sensitive and easily triggered by not only tidal stress change but also hydrological loading change. When comparing with the nearby earthquakes (magnitude greater than 1.0), we found no clear association. In the future, careful evaluation through earthquake swarms will be performed, to better understand the tremor generation mechanisms especially the role of fluid migration.

(1) Department of Earth Sciences, National Taiwan Normal University / Kate Huihsuan Chen

(2) PhD student / Third year of doctoral program

(3) Sophia840320@gmail.com

Surface wave imaging beneath middle Ryukyu subduction system from Rayleigh wave measurements of noises-corrected ocean bottom seismic recordings

分析噪訊修正後的海底地震儀雷利波資料 探究琉球隱沒系統中部的表面波成像

Wei-Ya Su¹, Chih-Ming Lin¹, Pei-Ying Patty Lin¹, Chen-Chih Kuo¹
, and Ban-Yuan Kuo²

(1) Department of Earth Sciences, National Taiwan Normal University

(2) Institute of Earth Sciences, Academia Sinica

Abstract

Ryukyu subduction system consists of trench-arc-back arc and extends from Japan to Taiwan (~1500 km in length). The Okinawa Trough (OT) is the back-arc basin of Ryukyu subduction system and rifting in progress. In order to understand the lithosphere structures here, we present the Rayleigh wave measurements from 20 broadband ocean bottom seismographs (BBOBSs) and 8 on-land stations around the middle OT. This seismic array aperture spans ~350 km x 300 km. BBOBSs vertical data are significantly contaminated by two main noises, tilt noise, and compliance noise, due to weak coupling with the seafloor and seafloor deformation resulting from water wave effect respectively. First, we apply a frequency domain approach to sequentially remove tilt and compliance signals from vertical components. Then, we utilize an intra-array cross-correlation analysis to measure the Rayleigh wave dispersions from the teleseismic events during 2018/09- 2019/06 with raw and corrected vertical data. The result comparisons clearly show that the vertical signals measured benefit from the noises-removal, especially for periods of ~30-100s. Moreover, we obtain that the Rayleigh-wave phase velocity maps show lateral variations for different periods. In the short periods (~22- 32 s), the fast lithospheric lid appears in the OT and slow velocities are seen beneath the volcanic arc. For longer periods (> ~45 s), the fast anomalies might be associated with the slab. With the goal of constraining the shear velocity structure, in this work, the local shear velocity models are inverted from dispersion curves based on the sensitivity kernel calculated from MINEOS. We'll show the shear velocity model patterns beneath the backarc basin and volcanic arc to understand the seismic structure within the lithosphere and asthenosphere system of the Ryukyu subduction.

(1) 就讀學校/指導教授: 國立臺灣師範大學 林佩瑩

(2) 學位/年級: 學士 三年級

(3) E-mail/手機號碼: su0988846561@gmail.com

大屯火山地區之孕震構造

王聖東¹、廖勿渝¹、李恩瑞¹、林正洪^{2,3,4}、賴雅娟^{3,4}、史旻弘^{3,4}

(1) 成功大學地球科學系

(2) 中央研究院地球科學研究所

(3) 國家地震工程研究中心

(4) 大屯火山觀測站

摘要

近年世界各地火山活動活躍，例如，今年印尼梅拉比火山及去年日本櫻島火山等都有噴發報導，嚴重影響居民生命財產之安全。台灣位於弧陸碰撞交界帶，而我們著重在台灣北部，受到菲律賓海板塊隱沒至歐亞大陸板塊影響，形成典型的弧溝系統，除地震活動頻繁之外，另一個可能影響生命財產安全的天然災害是大屯火山群的活動，大屯火山群屬於活火山且被認為是琉球火山島弧的延伸，倘若將來噴發絕對會造成大台北地區將近 700 萬人口的生命受威脅，因此，唯有更了解火山，才能有效降低災害造成的影響。

本研究希望從地震數量、時空分布等，了解大屯火山地區之孕震構造。本研究基於 CWB 及 Formosa Array 在 2019 年 1、2 月期間的地震資料，首先使用 RED-PAN (Real-time Earthquake Detection and Phase-picking with multi-task Attention Network) 是利用深度學習方法進行連續資料的地震偵測及波相判釋，接著使用反投影法 (backprojection) 及 hypoinverse 將地震初步定位，再利用 Weighted Template Matching Algorithm (WTMA) 的方法，以被 RED-PAN 判斷為地震之波形作為模板，利用此模板對連續地震波形進行波形相似度的搜尋，尋找肉眼無法辨別的地震事件，建立更小規模的地震目錄，希望對地下細部構造有更好的了解，最後利用 GrowClust 相對重新定位，使地震依照其波形相似度及到時差分群定位，此外，使用 ISOLA 波形逆推方法，反演大屯火山區域地震之震源機制解。

利用地震時、空分佈及震源機制分析。在 2019 年 1、2 月期間，大屯火山地區至少有 3 個時間段的地震活動，地震集中在紗帽山南側及大油坑北側，震源深度主要介於 2.5 到 10 公里之間，經過震源機制解解算，發現較大規模的地震屬於正斷層或橫移斷層。

(1) 國立成功大學/李恩瑞教授

(2) 碩士/1年級

(3) wangshengtung@gmail.com

台灣造山褶皺逆衝帶孕震構造分析—以六甲斷層帶為例

林士捷¹、廖勿渝¹、李恩瑞¹

(1)國立成功大學地球科學系

摘要

台灣從新生代開始因歐亞板塊與菲律賓海板塊碰撞形成造山運動持續至今，其中褶皺逆衝帶的斷層為主要大規模地震的孕震帶 e.g. 1999集集地震的車籠埔斷層。台灣西南部的六甲斷層亦為褶皺逆衝帶的斷層之一，根據中央氣象局地震潛勢預測，六甲斷層帶是未來10年內台灣西南部最有可能發生規模6.0以上地震的地方，並且六甲斷層帶在沈寂20年左右，於2020年8月及10月分別發生兩起地震群事件，讓人不免擔心是否進入活躍期。此外六甲斷層鄰近台灣南部的科學重鎮—台南科學園區，若發生大規模地震，勢必造成龐大的經濟損失。

本研究使用中央氣象局地震觀測網(CWBSN)、台灣強地動觀測網(TSMIP)與台灣寬頻地震觀測網(BATS)於2020年8月到11月的觀測資料，並使用深度學習模型挑選潛在的P波、S波到時，並對P波、S波進行反投影初步找出潛在的地震事件，再根據其結果對地震進行重新定位與截切地震波形製作地震目錄，接著運用波形相似度尋找小規模地震，最後使用GrowClust分群重新定位完成地震目錄。

根據初步結果六甲斷層下方10~15公里為主要活動斷層，且南、北段發震構造有顯著差異，從深度及構造來看，該地震群並非地表六甲斷層所引起，在未來將會運用三維速度模型做重新定位，以進一步了解六甲斷層帶的地下細部構造，有益於了解褶皺逆衝帶構造和台灣造山運動，且更精確的地質構造也有助於地震災害評估。

Implication and waveform characteristics of the 2021 Nantou deep earthquake

Wei-You Zhang¹, Po-Fei Chen¹

1.Department of Earth Science, National Central University, Taoyuan, Taiwan

The Sep. 13, 2021 Nantou earthquake (M_L 5.6, dep. 46.1 km) occurred within a narrow zone (~20 km) of deep seismicity (35~80 km) beneath central Taiwan. This deep seismic zone appeared to be not associated with known subduction zones around Taiwan was identified by Lin and Roecker (1993) and explained as mantle shearing in an arc-continent collision. The first goal of this study is to better depicting seismic distributions of the deep seismic zone and the second goal is to investigate any azimuthal variations of waveforms from the earthquake. For the first, events within the deep seismic zone from the CWBSN catalogue were sorted out and clustering, using density-based spatial clustering of applications with noise (DBSCAN, Kriegel et al., 2011). The two clusters thus derived were relocated using double-difference algorithm (HYPODD) on a multiple events relocation scheme (Waldhauser and Ellsworth 2000).

For the second, S wave waveforms of the Nantou earthquake as recorded by the Formosa Array were analyzed as a function azimuth in the framework of known Taiwan tectonics. We expect the results can have implications on Taiwan tectonics.

Key words: Deep Nantou earthquake, DBSCAN, HYPODD, Formosa Array

學位與年級:中央大學地球科學系地球物理所碩士班二年級

指導教授:陳伯飛博士

非監督式深度聚類應用於都市地震資料

陳致憲¹、李恩瑞¹

¹國立成功大學地球科學系

摘要

近年來地震訊號被廣泛地運用於監測不同物理行為(如, 邊坡災害、冰川行為), 因地震監測其具有不易受因素影響、及時提供訊息的優勢, 且地震資料處理後可提供震源參數, 有助於量化分析。在人口稠密的都會區, 每天都有許多不同類型的環境源, 雖然大多強度較有感地震弱, 但是資料量驚人, 若能從中提取有效訊息, 對於城市環境和活動監測能夠有所幫助。本研究結合深度聚類演算法, 針對都市地震資料特徵進行分群, 挑選出都市內的人為因素之噪訊, 並辨識出其不同地震紀錄特徵上之差異。

本研究採用台南市2021年2月至2021年6月之地震紀錄, 透過STA/LTA挑選出較顯著環境震源其主要包括列車、高鐵和飛機, 再以閾值對地震信號的包絡線(envelope)截切完整信號, 對選出的地震信號進行Z-score正規化後, 再轉到時頻域做為非監督式深度聚類分析的輸入資料進行訓練, 並評估結果、模型效能及準確度, 最後透過不同交通工具的時刻表進行資料標籤驗證。分群的結果顯示, 各個集群在地震信號特徵上具有顯著差異, 可以觀察到不同集群在地震信號振幅、持續時間、頻寬等方面的差異, 這些特徵差異有助於我們更好地理解都市環境中的各種環境源和人為因素對地震信號的影響。透過進一步優化深度聚類演算法和特徵提取方法, 我們可以更精確地區分不同的地震信號, 從而更有效地監測城市環境和活動, 以提高城市管理和防災效能。

快速地震震源定位於地震預警之應用

練嘉翔¹、李恩瑞¹

(1)國立成功大學地球科學系

摘要

地震災害為人類面對的主要天然災害之一，若大地震於人口密集區發生常伴隨大量人員傷亡以及社會經濟巨大損失。而臺灣位於活躍的造山帶上與地震朝夕相處，在1999年的921大地震更是許多臺灣人的夢魘。在尚無法準確預測地震前，地震預警系統可在強震發生後，利用靠近震源測站的P波記錄推估地震影響，在損害性較強的S波與表面波來臨前發出預警，使民眾與企業能先做好準備，為目前主要地震防災。

即時且精確的地震定位有助於預警系統評估地震災害，做為警報發布依據。本研究發展的快速震源定位方法會先將研究發震範圍網格化，用三維速度模型計算並儲存格點到鄰近站理論的P波到時，待地震P波觸發測站後，先辨識地震事件數，將同事件的地震測站運用EDT(Equal Differential Time)得到其兩兩之間P波到時差，將潛在震源位置做交集並估算機率，透過每次交集後減少格點數，可降低計算所需的時間，達到快速且精準的定位效果。

目前將該方法用於台灣歷史地震資料進行測試，並加入同時不同位置的地震事件與同地點時間相近的連續地震事件的地震預警方式，未來將加入並行處理，降低台灣地震預警定位地震定位所需時間，進一步減少地震預警盲區。

Temperature-mediated Evolution of Extraordinarily Tiny Echinoid *Sinaechinocyamus mai* (Echinoidea, Taiwanasteridae) Based on Clumped Isotope Thermometry

Chia-Hsin Hsu^{1,2,*}、Mao-Chang Liang²、Jih-Pai Lin¹、Wei-Chia Chu³、Chien-Hsiang Lin⁴

(1) Department of Geosciences, National Taiwan University, Taipei, Taiwan、(2) Institute of Earth Sciences, Academia Sinica, Taipei, Taiwan、(3) Central Geological Survey, Ministry of Economic Affairs, New Taipei, Taiwan、(4) Biodiversity Research Center, Academia Sinica, Taipei, Taiwan

Abstract

Sinaechinocyamus mai is an echinoid species named after Ting-Ying Ma, who is the first department chair of the Department of Geosciences, National Taiwan University. It is one of the characteristic sand dollars that is still living along the western coast of Taiwan and is significantly different from their closest relatives in size and biogeographical distribution. In particular, its extraordinarily tiny body size reveals unusual evolutionary paths which could be related to changing environments. Here, we examined paleoenvironmental conditions and performed conventional stable carbon and oxygen isotope and unconventional clumped isotope analyses of well-preserved fossilized samples in the past ~8 Ma. We analyzed the carbonate component of *S. mai* and inferred temperature of the environment where it grew, by assuming the carbonate precipitation is in thermal equilibrium with the ambient. Temperature estimated from both $\delta^{18}\text{O}$ and Δ_{47} indicates *S. mai* is more adaptable, living in a higher and wider temperature range than other *S. mirabilis* species. We found that the clumped temperature of *S. mai* anti-correlates with its body size. Our analysis suggests that warm climate preferentially selects small body size species, triggering the evolution and deviating *S. mai* from its ancestors used to live in cold-water environments.

Keywords: Lilliput effect, climate change, glacial-interglacial cycles, clumped isotopes, Echinodermata

(1) University/Advisor

Department of Geosciences, National Taiwan University/ Mao-Chang Liang

(2) Degree/Grade

Undergraduate Student/ Junior

(3) E-mail/Cell phone number

b09204010@ntu.edu.tw

化石保存之構造變形—以苗栗地區奇異掘海膽化石為例

曾健嘉、林日白

國立臺灣大學地質科學研究所

摘要

由 6Ma 的蓬萊造山運動開始，西部麓山帶因著構造變動而留下不少斷層與褶皺，這些構造同時也影響到臺灣海膽化石的產狀，因樣本受到應力而變形、破裂，導致前人研究古生物形體與生態時必須將之排除。然而若換個角度想，這些樣本可以用於探討其出產地層在構造變動過程中的變化。

以苗栗頭嵙山層出產的奇異掘海膽(*Scaphechinus mirabilis*)為研究對象，其露頭集中於出磺坑背斜與三義斷層以西直到海岸邊，北起中港溪，南抵大安溪，分屬外麓山帶，選出其中嚴重破裂的樣本觀察。

由於破裂的成因不僅有構造應力，沉積物壓力若作用在沙錢海膽埋藏弱面時也可能會造成化石標本破裂。本研究用 X 光掃描與偏光顯微鏡觀察變形及破裂化石標本的內部結構，藉此分辨兩者的差別。在總計 324 件研究樣本中，選出 7 件以 Micro-CT 掃描，以及 10 件製作化石薄片（總數 16 片），可確認部分樣本有側向應力造成的剪力破裂，或出現類似斷層引發的單斜褶皺(monocline)之結構，可作為構造應力作用的證據。

關鍵字：地層與古生物；虛擬震源機制解；棘皮動物；第四紀地質學；西部麓山帶

就讀學校/指導教授：國立臺灣大學地質科學研究所/林日白

學位/年級：學士/碩士班二年級

E-mail/手機號碼：joshuatseng10@gmail.com

臺灣南部恆春西台地貓鼻頭石灰岩之沉積環境初探

A Preliminary Study on Sedimentary Environment of the Maobitou Limestone in the Western Hengchun Tableland, southern Taiwan

黃巧慈¹、徐濤德¹、王士偉²、謝凱旋³

(1) 國立臺灣大學地質科學研究所、(2) 國立自然科學博物館地質學組、(3) 經濟部中央地質調查所

摘要

恆春西台地位於臺灣南部恆春半島西南側，為一第四紀隆起台地，主要由更新世的地層單位組成，包含馬鞍山層、恆春石灰岩、四溝層與太平層。而恆春西台地於隆起前為生物作用發育而成的陸緣與濱海交界沉積環境，可能曾形成潟湖與障壁島等沿海地形。恆春斷層以西地區出露的恆春石灰岩主要為之生物碎屑組成的石灰岩，前人按照其出露位置與岩性特徵劃分為萬里桐石灰岩、關山石灰岩以及貓鼻頭石灰岩等；其中，貓鼻頭石灰岩曾被解釋為一開闊性濱面環境，其產狀與其他恆春石灰岩截然不同，目前貓鼻頭地區出露之碎屑性石灰岩於地層劃分中仍多不同見解。本研究目的即經由詳細調查貓鼻頭區域出露之碳酸鹽岩地層，以期重建恆春西台地南端被抬升隆起前的沉積環境，進而釐清其岩石地層相關討論。

目前已針對貓鼻頭的石灰岩地層進行沉積岩岩相分析，透過採樣與岩象分析，初步結果顯示貓鼻頭石灰岩的生物組成與前人觀察相符，主要顆粒組成為生物碎屑如有孔蟲、軟體動物殼體、珊瑚藻、苔蘚蟲，以及少量的珊瑚與岩石碎屑。根據貓鼻頭石灰岩中的超微化石與浮游性有孔蟲種屬，所鑑定的指準化石可歸在 NN19 和 N22 化石帶，其沉積年代可能介於 1.7Ma 與 0.61Ma 之間。於野外觀察中，發現貓鼻頭石灰岩中之主要沉積構造為圓丘狀交錯層理 (hummocky or swaley cross-stratification)，推測其為位於較深水環境，由高能量暴風作用所搬運堆積而形成的碎屑性石灰岩 (detrital limestone)；此結果與前人認為，該石灰岩中主要出現大型平板狀、槽狀、甚或魚骨狀交錯層，應為位於淺海且受潮汐水流作用影響之環境的看法相異。後續將繼續增加岩相觀察之點位，以建立貓鼻頭石灰岩完整地層剖面，並與鑽井岩芯進行比對，以更進一步瞭解其沉積相；同時結合野外觀察之交錯層與古水流方向等沉積構造特徵，推測其沉積物來源，以重建恆春西台地南端之沉積歷史。

關鍵字：恆春西台地、恆春石灰岩、貓鼻頭石灰岩、沉積岩岩相分析、沉積環境

【學生壁報比賽】參與者於摘要尾端註記

- (1) 國立臺灣大學/徐濤德
- (2) 地質科學研究所/碩士班三年級
- (3) R09224115@ntu.edu.tw

Applying multi-fault rupture scenario to Taiwan Earthquake Model (TEM)

Wai San Cheng¹、Yu Wang¹

(1) Department of Geosciences, National Taiwan University

Abstract

Multi-fault rupture earthquake is an event which involved near-simultaneous or cascading rupture on two or more faults in one single earthquake event, and results in a larger magnitude that exceeds the capable magnitude of any single seismogenic fault involved in the earthquake. Although the unexpected earthquake magnitude may have high impact on the seismic hazard assessment, the geological condition to promote multi-fault rupture in single earthquake is yet well-studied. Hence, we collect worldwide cases of multi-fault ruptures and aim to build up a database focusing on spatial relationships between cascading rupture faults and their physical characteristics (e.g., fault types, geometries).

In terms of the structural discontinuities that may arrest the coseismic ruptures, our data suggest the “5-km” surface fault separation may not act as the termini to stop all the strike-slip fault ruptures. Besides, in the cases of reverse faults, the coseismic ruptures could jump further than strike-slip faulting cases. This difference is likely resulted in the 3D geometries and distances between adjacent faults since reverse faults tend to have gentler geometries at depth, compared to strike-slip faults. In addition, the strike variation between faults also affects the jumping behaviour, our data shows that for strike-slip faulting cases and reverse faulting cases, jumps are not allowed if the strike variation is between 40-80 degrees.

With the constraints of distance and strike variation, we provide possible multi-fault rupture combinations with the corresponding magnitudes using the parameters of the seismogenic structures in Taiwan Earthquake Model 2020 version(TEM2020). Among our multi-fault rupture scenario, the estimated mean recurrence interval of 1935-like rupture events is approximately 1220 yr, which is comparable to PSHA 2020 model.

Keywords: Multi-fault ruptures, earthquake scenario, seismic hazard assessment, Taiwan Earthquake Model (TEM)

(1) National Taiwan University, Yu Wang
(2) Master, 2
(3) r10224116@ntu.edu.tw

利用抬升之珊瑚探討緬甸西部基督島的海岸變形與古 地震事件

何艾玲¹、徐濤德¹、王昱¹、姜宏偉²、沈川洲¹、Soe Thura Tun³

(1) 國立臺灣大學地質研究所、(2) 中央研究院環境變遷研究中心、(3) 緬甸地震委員會

摘要

緬甸西部外海的基督島 (Cheduba Island) 緊鄰巽他大型逆衝帶 (Sunda megathrust) 的變形前緣，前人研究指出基督島與其東側的蘭裏島 (Ramree Island) 底下存在有兩條分支斷層，主導這兩座島長期的變形行為。在1762年阿拉干大地震中，巽他大型逆衝帶連同上部的分支斷層一起破裂，在這兩座島沿海留下了相當連續的海岸抬升紀錄。除了上一次的大型逆衝帶事件外，在蘭裏島北岸的珊瑚微型環礁 (coral microatoll) 也記錄下由單一條分支斷層破裂所造成的地區型地震事件。然而，現今對於基督島是否也存在著類似單由分支斷層破裂造成的地區型地震事件尚未被闡明。本研究欲利用受到抬升的珊瑚鈾—釷定年與海階測繪來探討上述問題，並重建1762年阿拉干大地震以及其他古地震事件造成的海岸變形。

根據本研究結果，抬升的珊瑚資料顯示1762年的同震抬升與前人的觀察大致相同，呈現西南側高、東北側低的分布。除此之外，在基督島北岸發現死於1762年前約一世紀的珊瑚群，這項發現與文獻中所記載的口述歷史吻合。結合前人在蘭裏島中部所發現的地質證據，本研究認為該事件或許為由北基督島下方分支斷層或大型逆衝帶局部性破裂所產生的區域型地震事件。近五百年來，北基督島與南基督島似乎分別以不同的模式，利用典型地震模型或雙模式地震模型來釋放應力。本研究結果能為人口快速成長的緬甸西部沿海地區，提供未來地震和海嘯災害防治的重要地質約束。

【學生壁報比賽】參與者於摘要尾端註記

- (1) 就讀學校/指導教授：國立臺灣大學/徐濤德
- (2) 學位/年級：地質科學所/碩三
- (3) E-mail/手機號碼：R09224108@ntu.edu.tw

臺灣西南部麓山帶之活動構造特徵

胡力夫¹、徐濤德¹

(1)國立臺灣大學地質科學系

摘要

臺灣西南部人口稠密地區正面臨相當高的地震危害，因此瞭解本區域活動構造特性是臺灣地震危害分析的一個重要目標。沿著臺南中洲台地西側，過去有研究顯示可能存在一中洲構造並具有高地震災害潛勢，然而其位置以及長期活動速率仍有許多爭議。

為進一步瞭解臺灣西南部麓山帶地區活動構造之特性，本研究首先利用高解析度數值高程模型 (DEM)，以構造地形特徵繪製可能的活動構造位置，並進行野外地形調查，確認構造崖的位置。其後透過 RTK-GPS 測量精確地形剖面，搭配探溝開挖尋找地形面定年材料，期望獲得本區域之活動構造分佈與其長期活動速率。

目前結果顯示本區域活動構造分佈於中洲台地西側以及丘陵地前緣。沿中洲台地西側之構造即為前人提出之中洲構造，應為一向東傾斜的逆斷層，造成中洲台地抬升。沿線可見坡度平緩的構造崖特徵，以仁德一帶為界，以北構造崖較低緩，以南則較為明顯，總長度超過 30 公里。彌陀深底山西北側有一彌陀構造，為一向東傾斜的逆斷層，可向西南邊往海延伸。新市區潭頂附近有一潭頂構造，為一向東傾斜的逆斷層，在通過右移的新化斷層時，構造崖出現約 130 公尺的右移錯距。關廟市區之南北兩側分別有北關廟構造及南關廟構造，兩者在 2016 年美濃地震時，均有地表破裂的報導。其中北關廟構造可能為一向西傾斜的逆斷層，造成該處一系列孤山的抬升；南關廟構造則為一向東傾斜的逆斷層，造成其東側丘陵地的抬升。位在大小崗山西側的小崗山斷層為中央地質調查所公布的活動斷層之一，為一向東傾斜的逆斷層，其北段上盤有一寬度約 200 公尺的背斜地形，顯示斷層可能延伸至相當近地表處。

本研究目前成果與已發表的臺灣地震模型 (Taiwan Earthquake Model, TEM) 孕震構造資料庫相比有相當的差異，可見此區之孕震構造特徵仍待持續調查及精進。未來將繼續進行各構造的詳細地形剖面繪製，並計劃利用探溝開挖等方式取得地形面之定年資料，以獲得各構造更精確之孕震參數。

【學生壁報比賽】參與者於摘要尾端註記

- (1) 就讀學校：國立臺灣大學地質科學系/指導教授：徐濤德教授
- (2) 學位：碩士/年級：二年級
- (3) E-mail：r10224108@ntu.edu.tw

臺灣海域孕震構造位置之繪製與活動性評估

陳承鴻、徐浩德

國立臺灣大學地質科學系

摘要

年輕而活躍的臺灣島上有許多地震活動與孕震構造，若能事先評估這些構造的活動性，便可大幅減少災害性地震造成的損失。然而，過去臺灣活動構造研究主要聚焦在陸地區域，若能增加海域孕震構造資料庫，將能更加完備地震防災準備。

決定海域構造的位置與活動性是地震災害評估模型中的重大挑戰。本研究整合已發表的地質與地球物理的研究成果，首次以陸域活動構造的研究觀點去檢視震測剖面與海底地形資料，透過分析不連續反射訊號是否切穿海床和海床線型延續性，決定孕震構造可能的位置與地下幾何。目前本研究繪製了52條臺灣周邊海域可能發生規模超過6.5地震的孕震構造，並設計了適合不同地質區域的孕震參數估計方式。研究成果顯示，構造活動速率較高的區域位於兩個隱沒系統上盤，長期滑移速率可能超過15 mm/yr，地震再現週期小於1000年。而其餘區域的構造雖然仍具有發生大地震的能力，但活動速率較低，多小於10 mm/yr，因此再現週期大部分長於5000年。此計算成果符合臺灣各區域的地質背景，例如相對穩定的北部外海與臺灣海峽的構造活動性較低；而活動性較高的東部外海構造活躍度可與陸上構造對比，且活動速率有由南往北增加的趨勢。

未來希望此資料庫能促進更完善的地震危害度計算，進一步提高臺灣防震防災的能力。對於海洋資源的開發與近海的建設，此資料庫也可提供重要的基礎地質資訊。在臺灣的地震科學研究中，此成果也有望帶領孕震構造研究朝向海洋發展。

關鍵詞：臺灣地震模型（TEM）、地震災害、孕震構造、構造參數、地震危害度

【學生壁報比賽】

- (1) 國立臺灣大學地質科學系/徐浩德
- (2) 博士班/五年級
- (3) d07224002@ntu.edu.tw

Hydro-Mechanical Modeling of Over-Pressured Porous Media under Zhong Liao Tunnel: Insights into Fluid Effects and Uplift Phenomena

Jia-Xun Lin ^a, Eh Tan ^b, Wei-Hau Wang ^c

^a Institute of Geophysics, National Central University, Taoyuan, Taiwan

^b Institute of Earth Sciences, Academia Sinica, Taipei, Taiwan

^c Institute of Applied Geophysics, National Chung Cheng University, Chiayi, Taiwan.

Abstract

The northern exit of Zhong Liao Tunnel on Highway 3 has experienced severe uplift since its construction in 2000. The uplift occurs within high ground motion velocity zone located between the Chishan and Chegualin Faults. Between 2000 and 2016, the area uplifted 130 cm and shortened 90 cm, a rate that cannot be solely attributed to the tectonic movement. Previous drilling records have revealed the presence of high fluid pressure layers in the Gutingkeng shale formation in the area, suggesting the possibility of mud diapirs underlying the high uplift zone. To investigate this phenomenon, we used a 2D hydro-visco-elasto-plastic numerical geodynamic model to simulate the high uplift zone driven by mud diapirs. We considered the strain-rate- and fracture-dependent porosity in the model, which allows drastic weakening at high strain rate areas, to produce larger uplift velocity. However, the model did not fully explain the high uplift velocity observed in the area. We then introduced the seepage force into the model, which is the interaction force between fluid and solid. It increases the uplift velocity and reduces the interval between the two faults, bringing the model results in closer agreement with observed field data. Our research highlights the importance of using two-phase modeling approaches to account for porous and fluid effects when simulating and predicting complex geological processes.

Keywords: Zhongliao tunnel, Chishan fault, Gutingkeng shale, Mud diapir, Numerical Simulation, Fluid-solid coupling, Hydro-mechanical

Spatial and Temporal Interaction Between the Central Range Fault System and the Longitudinal Valley Fault System: Insights From Sandbox Modeling

Chia-Yun Hsieh · Yu Wang

Department of Geosciences, National Taiwan University

Abstract

In this study, we utilize 2D sandbox modeling to simulate the spatial and the temporal interaction between the Central Range fault system (CRFs) and the Longitudinal Valley fault system (LVFs) in eastern Taiwan. The CRFs and LVFs are two major active faults along the Longitudinal Valley suture, accommodating more than 3 cm/yr oblique plate convergence between the Philippine Sea Plate and the Eurasian Plate. While the general geometric framework between CRFs and LVFs has been analyzed through the coseismic slips and aftershock distribution of the 2013 Rueisuei earthquake, the 2018 Hualien earthquake, and the 2022 Kuanshan-Chihshang earthquake, the lateral connection of these two fault systems within the suture and their plausible temporal evolution remain controversial. To address these issues, we incorporate materials with different strength in the 2D sandbox model to simulate the structural deformation within the model. Both erosion process and syn-tectonic sedimentation are introduced in the model to reflect the 1st order geological history along the valley. We also use particle image velocimetry (PIV) to analyze the deformation pattern, and objectively determine the fault activity. Our modeling results suggest the geometric interaction between CRFs and LVFs can be divided into four stages. First, CRFs and LVFs crop to the surface separately without clear interaction between these two faults. In the second stage, these two faults form a conjugate-like fault geometry and compete for dominance. In the third stage, LVFs crosscuts CRFs and takes dominance in our model, and the CRFs regains dominance in the fourth stage as they propagate eastwards, crosscuts LVFs, and truncates the Coastal Range. These structural changes in our 2D model are comparable to seismological and geological observations along the valley, suggesting plausible structural interactions within the Longitudinal Valley suture from south to north.

- (1) University/Advisor: National Taiwan University/ Yu Wang**
- (2) Degree/Grade: Master degree / the 3rd year**
- (3) E-mail/Cell phone number: sherry204001@gmail.com**

太魯閣帶泥質片岩內含中-高壓變質紀錄之新發現

王雅芳¹、蔡金河¹、Yui Kouketsu²、Yoshiyuki Iizuka³

(1)國立東華大學自然資源與環境學系碩士班地球科學組、

(2)Graduate School of Earth and Planetary Sciences, Nagoya University, Japan、

(3)中央研究院地球科學研究所

摘要

太魯閣變質帶是台灣最古老的地質單位，出露於中央山脈東翼，岩性包含泥質/砂質片岩、大理岩、變質花崗岩(片麻岩)、角閃岩、綠色片岩、及少量蛇紋岩。此變質帶岩石記錄了不同時期造山運動下產生的多期變質作用，變質度以綠片岩相為主，局部有角閃岩相，但因岩石普遍缺乏變質指標礦物與共生組合及可應用之地質溫壓計，以致區域變質作用的屬性、溫壓條件及其演化仍然模糊不清。過去多數研究結果顯示溫壓條件在3-5 kbar與300-700 °C，指示低壓-中高溫的變質環境；然而，亦有少數含石榴子石的變質岩揭示曾經歷相對較高壓力的條件，特別是在花蓮和平地區。本研究針對和平地區出露之泥質片岩進行詳細的岩象及礦物化學分析。此區之泥質片岩含石榴子石變斑晶，基質主要由細粒之石英、多矽白雲母、綠泥石、斜黝簾石、奧長石和鈉長石組成。石榴子石富含石英包裹體，變斑晶外圍石英壓影區有鬚狀之黑雲母。石榴子石具成分環帶，鐵與鎂由核心至邊緣遞增，錳則相反，鈣無顯著變化，為前進變質的成分變化特徵。變質峰期之礦物共生組合為石榴子石+黑雲母+多矽白雲母+奧長石(An₁₇₋₂₆)+石英+碳質物。為了制約其變質溫壓條件，本研究應用多種地質溫壓計算方法，如石榴子石-黑雲母地質溫壓計(Wu, 2019)、石英包裹體拉曼壓力計(Kouketsu et al., 2014)、碳質物拉曼地質溫度計(Aoya et al., 2010)，及相平衡模擬(Perple_X)。變質峰期之溫壓計算結果為500-550 °C與8-12 kbar。此一變質壓力數據明顯高於過去研究資料，且其對應之深埋深度可達30-40公里，極有可能代表一碰撞造山演化紀錄。

關鍵字：石榴子石、黑雲母、碳質物、地質溫壓計、相平衡模擬、碰撞造山

【學生壁報比賽】

- (1) 就讀學校/指導教授：國立東華大學 / 蔡金河
- (2) 學位/年級：碩士 / 三年級
- (3) E-mail/手機號碼：610954012@gms.ndhu.edu.tw

以熱力學耦合數值模擬探討臺灣弧前基盤缺失成因

陳致信¹、譚諤²、洪淑蕙¹、李元希³

(1) 台灣大學地質系、(2) 中央研究院地球科學研究所、(3) 中正大學地球與環境科學系

摘要

台灣地處歐亞大陸板塊邊緣並與菲律賓海板塊交界，且菲律賓海板塊以每年 70 到 80 毫米的速度向西北方向移動並與歐亞大陸板塊聚合，伴隨呂宋島弧與台灣造山帶的形成，但在台灣造山帶中段呂宋島弧與歐亞大陸板塊邊緣直接相連，缺失弧前基盤，過去研究建議此弧前基盤已隱沒至於菲律賓海板塊與歐亞大陸板塊之間，此弧前基盤缺失現象亦廣泛出現於類似板塊聚合區域。為了探討弧前基盤隱沒的機制，我們利用熱-力學耦合數值分析，並結合地質資料，模擬岩石圈尺度的板塊隱沒到碰撞過程來探討台灣造山帶中段弧前基盤隱沒的動力學機制。

模擬結果表明，弧前基盤的缺失與以下兩者有關：

1. 島弧的形成
2. 隱沒從南中國海洋地殼過渡到大陸地殼有關

當隱沒板塊由海洋地殼過渡到大陸地殼時，因大陸地殼材質密度較輕，不易隱沒，因此開始回捲形成造山，而造山形成的巨大塊體阻擋菲律賓海板塊向西北前進，且形成島弧的岩漿作用弱化弧前基盤之下地岩石圈強度，遂以島弧區域斷裂俯衝至弧前基盤之上方，最終弧前基盤隱沒至菲律賓海板塊之下。

(1) 台灣大學/譚諤、洪淑蕙

(2) 學士/碩一

(3) chu3401@gmail.com

台灣造山帶雪山山脈南部的變質溫度及其構造演育

謝立真¹、李元希¹

(1) 國立中正大學地球與環境科學系研究所

摘要

台灣造山帶中的雪山山脈，原為沉積於始新世張裂盆地到中新世被動大陸邊緣的盆地，而後受晚中新世以來的蓬萊運動形成山脈。在中段的雪山山脈以地利斷層為界，將雪山山脈分為東西兩不同變質度區域。雪山山脈西側在中段以水里坑斷層為界，南段則以地利斷層為界與西部麓山帶相接。對於控制雪山山脈區域變質溫度的機制，目前仍有不同看法，且對山脈內部斷層特性亦不清楚。本研究利用碳質物拉曼光譜(RSCM)分析雪山山脈中段的變質溫度並討論控制變質溫度的機制及各斷層可能的垂直位移。

大體而言，雪山山脈的變質溫度由中橫地區向南降溫。中橫地區高溫約400°C以上，局部甚至來到500°C，但往南最高溫降至340-370°C，到最南邊玉山地區僅剩不到300°C。變質溫度在盆地西側邊緣向東溫度變化梯度極大，我們初步認為受控於為盆地邊緣相較中心沉積厚度較小，因此相同年代地層由西向東變質溫度變化極大。

假設地溫梯度約30度，我們可以推估斷層的垂直位移，在雪山山脈南部，水里坑斷層上下盤溫度差約70°C，推測垂直位移約2.5公里。在水里坑斷層東邊，地利斷層上下盤溫度差約30°C，推測垂直位移約1公里；而在水里坑斷層以南，地利斷層上下盤溫度差約135°C，推測垂直位移約4.5公里。該結果與鋯石及磷灰石核飛跡所推測之斷層抬升量相符。

就讀學校/指導教授：國立中正大學/李元希

學位/年級：國立中正大學地球與環境科學系研究所/二年級

E-mail/手機號碼：lilyl1313@gmail.com

由石榴子石看台灣造山帶的古隱沒作用： 岩石相平衡模擬的溫壓新制約

羅文翰¹, 蔡金河¹, 鍾孫霖^{2,3}, Dominikus Deka Dewangga¹, 李皓揚², Yoshiyuki Iizuka²

(1)國立東華大學自然資源與環境學系 (2)中央研究院地球科學研究所 (3)國立台灣大學地質科學系

摘要

出露於中央山脈東翼玉里帶的高壓變質岩代表隱沒帶高壓變質作用下的產物，是研究台灣造山帶演化之重要關鍵。高壓變質岩所經歷之峰期變質條件及溫壓演化路徑可為地殼物質如何隱沒並掘升回地表提供重要線索。玉里帶的高壓變質岩包含多種岩性，如藍閃石片岩、石榴子石-鈉雲母-綠簾角閃岩、含藍閃石變質斜長花崗岩等，以數公尺左右之岩塊和蛇紋岩體一同出現於石榴子石泥質片岩為主的變質混同層。然而，這些高壓變質岩普遍缺乏指標礦物及可應用之地質溫壓計，以致其變質溫壓條件仍未完全明朗。本研究使用相平衡模擬計算方法(phase equilibrium modeling)搭配石榴子石成分等值線(isopleth)的交會點，以建構此區高壓變質岩的溫壓數值與變質演化。本研究發現這些高壓變質岩呈現兩類型的石榴子石成分特徵，多數高壓變質岩，如藍閃石片岩及其鄰近之石榴子石泥質片岩，石榴子石核部鎂鋁榴石成分較高，並向邊部遞減，為典型的前進變質環帶特徵；石榴子石-鈉雲母-綠簾角閃岩的石榴子石成分則幾無環帶，且其鎂鋁榴石成分相對較高，隱示該岩類可能經歷更高的變質溫度。溫壓計算結果顯示，此區高壓變質岩的峰期變質溫壓範圍為10–18 kbar 與 500–550 °C。藍閃石片岩及石榴子石泥質片岩的溫壓路徑是順時針型，石榴子石-鈉雲母-綠簾角閃岩則可能記錄一逆時針的溫壓路徑。這些不同的溫壓路徑及變質峰期條件可能反映隱沒帶深部的構造混合(tectonic mixing)，整體來看，玉里帶高壓變質岩可能形成於一古隱沒帶界面(subduction interface)之環境。

關鍵字: 玉里帶、高壓變質作用、峰期變質條件、隱沒帶介面、構造混合

【學生壁報比賽】

- (1) 國立東華大學自然資源與環境學系/ 指導教授: 蔡金河
- (2) 博士班/ 四年級
- (3) yt92119@gmail.com

玉里帶變質岩劈理之雲母礦物 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 定年與微構造意義

The implication of $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating and microstructure of mica minerals from metamorphic cleavage in Yuli belt, Taiwan

龐麒修^{1,2}、李建成²、葉孟宛³

國立台灣大學地質科學系¹、中央研究院地球科學研究所²、國立師範大學地球科學系³

摘要

位於台灣東部之玉里變質帶呈東北-西南走向分佈且帶有多期葉理變形事件，然而過去研究缺乏野外構造分期與描述以及各期變形事件的年代資料。本研究針對玉里清水溪段剖面、瑞穗馬遠溪段剖面，結合野外露頭以及顯微構造與岩石學的分析顯示玉里帶由東到西有板岩、石英雲母片岩、石榴子石±鈉長石泥質片岩、綠色片岩以及超基性岩體石榴子石+綠簾石+角閃岩片岩所組成。此系列岩石分別經過不同之變質程度與多期塑性變形(D₁, D₂, D₃)，且顯示越往西邊其變形與變質程度越強。其中記錄到最高度變形與變質之岩體為石榴子石±鈉長石泥質片岩所組成，其中亦包雜了無葉理發育數百公尺等級之蛇紋岩岩塊。

本研究主要針對玉里帶清水溪剖面 S₁, S₂, S₃ 劈理構造進行研究，其中 S₁ 為主要劈理，受 D₂ 變形期影響呈現褶皺軸向東傾的偃臥褶皺以及向西伸向折皺變形；S₂ 變形程度在玉里帶東側呈現夾皺劈理至西側轉變為穿透性強烈的劈理，而位態在玉里帶東側主要為北東走向、向東傾 (30-40°)，玉里帶西側轉東西走向、往北傾沒 (30-40°)，而再往西至壽豐剪切帶轉至向西傾 (40-50°)；而 S₃ 劈理在玉里帶中皆呈平緩次水平。

為瞭解片岩中劈理年代、變質岩相、微構造等意義，本研究分別在玉里清水溪上游石榴子石±鈉長石片岩中夾之綠色片岩、瑞穗馬遠溪石榴子石+綠簾石+角閃岩相超基性岩體內採集富雲母礦物之片岩樣本進行分礦並進行 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 氬氬定年分析、以及製作岩石薄片的進行微構造觀察。根據岩石薄片之觀察，馬遠溪石榴子石+綠簾石+角閃岩片岩最早形成礦物為角閃岩與石榴子石，代表在隱沒作用下岩體升溫升壓達到角閃岩變質相；而葉理由多矽白雲母(Phengite)、鈉雲母 (Paragonite)、綠簾石 (Epidote)、綠泥石 (Chlorite) 等礦物形成之 S₂ 葉理所定義，代表岩體經歷角閃岩相變質後，經歷蛻變質作用，角閃岩為綠色片岩相礦物所取代；而清水溪綠色片岩 S₂ 葉理中綠泥石與多矽白雲母平行排列且比例約 1:1，顯示形成 S₂ 葉理應發生在綠色片岩相中。結合前人 (Lo and Yui, 1996; Lo et al., 2019) 與本研究之 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 定年的結果和變質岩微構造觀察，多矽白雲母的變質年代為 9-10Ma，這顯示瑞穗馬遠溪超基性岩體經歷角閃岩相變質後開始掘升，至 10-9 Ma 左右在綠色片岩相發生 D₂ 期變質作用形成 S₂ 葉理。

Key words: 玉里變質岩帶、多矽雲母(Phengite)、劈理(cleavage)、綠色片岩相、綠簾石-角閃岩相、氬氬定年、清水溪、馬遠溪

(1) 就讀學校/指導教授: 國立台灣大學/ 鍾孫霖 李建成

(2) 學位/年級: 博士班/ 三年級

(3) E-mail/手機號碼: andy830205@gmail.com

Reconstruction of paleoenvironmental changes using multiproxy method: examples from the Tainan Science Park Drilling Archives

Hsiang-Yu Yang¹、Li Lo¹、Hung-Yu Wu²、Chung-Wei Shih²、Yi-Sheng Chang⁴、Bo-Lin Wu⁴、Ludvig Löwemark¹、Huei-Fen Chen³、Shu-Yi Chou⁵、Wei-Zhu Chen¹、Wan Yuen Tung Kiki¹

(1) Department of Geosciences, National Taiwan University、(2) Department of Resources Engineering, National Cheng Kung University、(3) Institute of Earth Sciences, National Taiwan Ocean University、(4) Archaeo Cultures Co., Ltd、(5) Tainan Center for Archaeology Research, Tainan Municipal Administration of Cultural Heritage

Abstract

Disentangling the complexity between human and environmental interactions is crucial to help human societies to prepare for the impact of current climate changes. Enriched archaeological heritages and environmental changes during the past few thousand years in southwest Taiwan have been recorded by the dynamic Tsengwen River system with accompanied inner sea sedimentary archives in the present Tainan City. Five long and continuous sedimentary cores (50-100 m penetration with >95% recovery rate) from the newly developed Tainan science park region have been retrieved in this study. We aim to apply multiproxy methods to provide comprehensive environmental information in southwestern Taiwan since the early Holocene.

The 1-millimeter resolution X-ray fluorescence (XRF) element profile offered enriched compositional information in the sediment cores that can support the lithofacies analysis to distinguish different sedimentary environments. Besides, the sedimentary composition of organic carbon, nitrogen, and grain size analyses are applied with a well-established age model based on accelerator mass spectrometry radiocarbon dating.

We find Ca/Ti ratio can serve as an indicator of the marine environment, which also has a positive correlation with the medium sand ($r = 0.58$, $p < 0.0001$). While the Zr/Rb proxy is linked with the variation of grain sizes, showing a significant negative correlation

with clay ($r = -0.69$, $p < 0.0001$), silt ($r = -0.72$, $p < 0.0001$), and a positive correlation with sand ($r = 0.76$, $p < 0.0001$). Relatively constant Ca/Ti ratio in these five cores suggests a stable marine sediment supply during 9-7 kyr BP, Zr/Rb with gradually smaller values indicates an upward sequence of grain size and might be recognized as fluvial facies. In summary, high-resolution XRF elemental ratio proxies provide us a new insight to connect sedimentary composition to sedimentary environment changes in a paleo-river mouth inner shelf environment since the early Holocene.

- (1) 國立台灣大學/指導教授：羅立
- (2) 地質科學所應用地質組碩士二年級
- (3) patrick.yang880612@gmail.com

發展新的鉀元素管柱分離方法並應用於雪球地球的蓋帽碳酸鹽樣品

李承鴻¹、游鎮烽¹、林彥伯¹、鍾全雄¹

(1)成功大學地球科學系同位素地球化學實驗室

摘要

全球性的冰河時期又被稱為雪球地球事件，其劇烈的氣候變化影響往後地球的發展。鉀廣泛的分佈在岩石圈、水圈、大氣圈、生物圈中，而鉀同位素作為近期新興的非傳統穩定同位素，具有很大的潛力去探討以上不同圈之間的交互作用，同時也被認為可以追溯古氣候的新同位素示蹤劑。研究碳酸鹽相鉀同位素量測過程需先將鉀(200ppm)與高濃度的鈣(40 wt.%)進行分離與純化，過去鉀元素的純化需進行兩次AG50W-X8管柱層析，然而樣品多次蒸乾及轉移的過程中可能造成鉀元素的損失甚至污染，因此本研究發展單一管柱的純化方法將有助於降低實驗造成的背景值。

研究樣品來自前寒武紀 Marinoan 冰期後所沉積的蓋帽碳酸鹽，採樣地點為中國貴州甕安磷礦區穿岩洞陡山陀層。樣品薄片在偏光顯微鏡下可以觀察到屬於埃迪卡拉生物群的化石，而生物化石的存在，顯示出即使歷經雪球地球這樣的極端氣候事件，生物仍持續演化發展，因此使用鉀同位素瞭解過去的氣候變化甚為重要。礦物組成透過掃描式電子顯微鏡(SEM)確認主要礦物組成為白雲石，剩餘大多為磷灰石以及少量的黃鐵礦。微拉曼光譜的圖譜中也發現了碳物質的訊號(D-bands (1350 cm^{-1})以及 G-band (1580 cm^{-1}))，進一步證實此區域曾有生物活動的痕跡。

Sr-spec 樹脂相比於 AG50W-X8 樹脂，能更有效純化鉀元素。在 HNO_3 流洗過程，鉀對比其他主要元素與樹脂具有更強親和力，通過樹脂時間更久，達成與主要元素的分離。本研究改進過去 Sr-spec 樹脂純化方法，成功將鈣的濃度壓低至十分之一 ($[\text{Ca}]/[\text{K}] < 0.1$)，大幅降低鉀同位素量測過程的鈣元素干擾。通過各標準品的測試(JCp-1、BHVO-2 以及 IAPSO)，此方法可應用於碳酸鹽、玄武岩、海水等樣品，皆可有效純化鉀元素並達到穩定回收率。後續將應用於雪球地球的蓋帽碳酸鹽鉀同位素分析，深入探討雪球地球後(約 6.3 億年前)的風化事件，並與鋇同位素結果進行系統性比較。

[學生壁報比賽]

(1) 成功大學地球科學所 / 游鎮烽博士

(2) 碩士 / 二年級

(3) L46101022@gs.ncku.edu.tw

利用硼同位素評估前寒武紀/寒武紀交界帶陡山沱層 海洋pH值變化與其環境意義

Evaluation of oceanic pH change and its environmental significance in the Precambrian/Cambrian boundary zone using boron isotopes

林彥伯¹、游鎮烽¹、鍾全雄¹

(1)701台南市東區大學路1號 國立成功大學 地球科學系

摘要

Ediacaran時期曾發生Marinoan 和Gaskiers兩次冰雪覆蓋全球的雪球地球事件，並且是由於溫室氣體濃度上升所引發的超級溫室效應結束。本研究主要透過甕安陡山沱層碳酸鹽中硼同位素比值($\delta^{11}\text{B}$)，探討新元古代超級溫室效應條件下的海水的pH值與 $p\text{CO}_2$ 。本研究改良碳酸鹽相序列萃取方法，排除因受次生方解石與其他礦物相影響所產生的硼同位素變化(7‰)。建立橫跨Ediacaran時期，接近一億年中國揚子盆地陡山沱地層完整的碳酸鹽 $\delta^{11}\text{B}$ 紀錄(-5.7‰ 到8.9‰)。Marinoan 冰期結束後的地層中，發現全球性 $\delta^{11}\text{B}$ 負偏移，本研究認為是融冰時大量陸源沉積物輸入，導致陸棚區域海水B濃度與 $\delta^{11}\text{B}$ 顯著改變。通過濃度的變化，可評估陸源貢獻與環境海水 $\delta^{11}\text{B}$ ，並將此應用於海水pH值計算。過去Ediacaran時期海水的 $\delta^{11}\text{B}$ 被估為定值，各研究的估值差異對pH估算產生顯著影響。本研究不僅排除人為估值差異所導致的pH誤差，更同時考慮陸源通量改變對海水 $\delta^{11}\text{B}$ 與pH計算的影響，因此大幅調整pH值與 $p\text{CO}_2$ 的估算。研究表明當時海水pH值約 7.62; $p\text{CO}_2$ 約1,400 ppm，此結果明顯低於過去的估值(90,000 ppm)。此次的 $\delta^{11}\text{B}$ 負偏移，是受海水酸化與陸源通量(低 $\delta^{11}\text{B}$)增加共同影響。超級溫室效應伴隨著冰雪消融與與全球海水面逐漸上升，使沉積環境的陸源通量減少，結束此次負偏移。第二次 $\delta^{11}\text{B}$ 負偏移出現在Gaskiers 冰期結束，此時全球各地Ediacaran生物群大量出現，本研究在樣品中發現疑似Ediacaran生物群的生物化石，並估算當時pH值約6.68， $p\text{CO}_2$ 約13,000 ppm。比起過去研究超級溫室效應主要聚焦的Marinoan，Gaskiers時期具有更高的 $p\text{CO}_2$ 。本研究以 $\delta^{11}\text{B}$ 、海水pH值、海水面變化與陸源風化通量驗證雪球地球假說，並提供冰雪消融時相對低的 $p\text{CO}_2$ 新證據。改變過去對於超級溫室效應的認知。

(1) 就讀學校:成功大學/指導教授: 游鎮烽 博士

(2) 學位:博士生/年級:七

(3) E-mail:x486934@hotmail.com

台灣西南部二仁溪之地球化學分析

施岱汝¹、游鎮烽¹

(1) 國立成功大學地球科學系 同位素地球化學實驗室

摘要

硼同位素對水岩反應的高靈敏度與在不同來源中的分化差異，可以做為探討河水中硼來源與貢獻的示蹤計。台灣西南部的二仁溪位在台南市與高雄市交界，是附近主要灌溉和民生用水的河流之一，過去曾因為工業發展而造成嚴重的重金屬汙染，近幾年有報導指出河流沿岸仍有有毒電子廢棄物堆置和畜牧排放廢水，本研究將利用硼同位素，結合主要/微量元素濃度，探討二仁溪河水中硼的分布與地球化學特性。

本研究自二仁溪上游至下游，以及5條支流進行河水樣品採集，使用感應耦合電漿光譜儀(ICP-OES)與感應耦合電漿質譜儀(ICP-MS)測量主要/微量元素濃度，並以微昇華法(Micro-sublimation)進行樣品純化，利用多接收器感應耦合電漿質譜儀(MC-ICP-MS)精確測量硼同位素。

根據主要元素濃度結果顯示，控制二仁溪河水化學組成的主要因素是碳酸鹽和矽酸鹽風化，上游樣品偏向於碳酸鹽風化貢獻，而下游樣品則偏向矽酸鹽風化影響。本研究測得二仁溪硼同位素範圍從 +8.5 ~ +30.0‰，顯示硼同位素在二仁溪具有空間上的差異性，支流安保溪與三爺宮溪有較高的 Cl/Na 和較低的 $\delta^{11}\text{B}$ ，均顯示有受到人為活動的影響。

關鍵字：硼同位素、河水化學組成

【學生壁報比賽】

- (1) 國立成功大學 / 游鎮烽 教授
- (2) 碩士 / 二年級
- (3) L46104062@gs.ncku.edu.tw

改良精確多重硫同位素電漿質譜儀分析技術及地球化學應用的評估高宗佑¹、游鎮烽¹、鍾全雄¹¹國立成功大學 地球科學系**摘要**

硫有四個穩定的同位素(^{32}S , ^{33}S , ^{34}S 和 ^{36}S), 過去幾十年來, $^{34}\text{S}/^{32}\text{S}$ 比值 ($\delta^{34}\text{S}$) 已被廣泛應用在地質學、生物學、大氣化學及環境科學等領域。但受限於儀器靈敏度 ^{33}S 及 ^{36}S 的量測與其分化機制仍待發展與研究。傳統的穩定同位素質譜儀量測硫同位素需要較多的樣品, 難以應用在樣品取得不易的研究上(如氣膠體)。多接受器感應耦合電漿質譜儀(MC-ICPMS)具有高靈敏度的優點, 可大幅減低硫同位素分析所需的樣品量, 使硫同位素能用以探討更細微, 更高解析的變動趨勢。但以 MC-ICP-MS 分析硫同位素容易受到氧跟氫化物等同重素的干擾, 再加上儀器中的記憶效應, 因此在量測硫同位素上仍有改進空間。本研究使用 MC-ICP-MS 搭配去溶劑進樣系統(APEX-Omega)來進行多重硫同位素的量測, 以建立 $\delta^{33}\text{S}$ 及 $\Delta^{33}\text{S}$ 的量測與修正方法, 並改善 $\delta^{34}\text{S}$ 量測的精確度。相較於傳統的進樣系統如濕式進樣或 APEX-IR 高效率進樣系統, APEX-Omega 擁有更好的降低基質干擾的能力: 在中解析度下, ^{32}S 的訊號靈敏度為 16.5 V/ppm, 遠高於背景的訊號強度(0.1V), 在量測 $\delta^{34}\text{S}$ 時可忽視背景值造成的干擾。使用 $1\mu\text{g}$ 硫在中解析度下, $\delta^{34}\text{S}$ 、 $\delta^{33}\text{S}$ 及 $\Delta^{33}\text{S}$ 的分析精確度分別為 0.23、0.11 及 0.09 ‰ (2 SD)。MC-ICP-MS 的高靈敏度結合 APEX-Omega 去溶劑能

力，可應用在天水、氣溶膠等低硫濃度樣品，更廣泛地進行同位素量測。精確 $\delta^{34}\text{S}$ 及 $\Delta^{33}\text{S}$ 的量測除了能應用於大氣光化學的研究之外，也具有揭示在不同過程中潛在的非質量效應分化的潛能。

【學生壁報比賽】參加資訊

- (1) 就讀學校/指導教授：國立成功大學 地球科學系/ 游鎮烽
- (2) 學位/年級：博士生 1 年級
- (3) E-mail: s8719187191@gmail.com

印尼蘇拉瓦阿甘火山中稀土富集暨負鈾異常現象探討

黃子權¹、朱美妃¹、賴昱銘²

(1)國立台灣大學地質科學系、(2)國立臺灣師範大學地球科學系

摘要

蘇拉瓦阿甘火山 (Seulawah Agam) 位於印尼蘇門答臘島西北端，是一座現生的島弧火山。在當地採集到的十一件火山岩樣品當中，有三件玄武質安山岩及一件安山岩樣品出現顯著的輕、中、重稀土富集 ($LaN > 300$; $DyN > 70$; $YbN > 50$)，同時這些樣品也具有明顯的負鈾異常 ($Ce/Ce^* : 0.28 - 0.67$)。來自蘇拉瓦阿甘火山的同岩性樣品之間，稀土有異常與無異常的樣品具有相近的主量及其他微量元素組成，亦即在地球化學上僅稀土出現明顯差異；而由岩象觀察結果，我們發現異常樣品獨具含稀土含水的磷酸鹽礦物（水磷鈾礦？）。

火山岩僅稀土富集並伴隨高度負鈾異常的化學特徵，應與含水稀土磷酸鹽的出現有關，前人研究普遍解釋這些微小礦物的形成是「地表化學風化作用」的結果。然而文獻中此種現象大多零星散布在火山系統內，且其在全球報導中的分布與岩石的岩性、形成年代，以及所處氣候環境等因素沒有關聯，既然地表上最常見的化學風化作用無法解釋稀土富集、負鈾異常現象在單一火山體與全球火山岩中的罕見，可見此化學特徵應另有形成機制。

近期的水岩反應實驗中，使含稀土的富氟溶液在100巴 (bar) 的壓力下持續流經高溫 (~250°C) 的磷灰石，近一個月交互作用的結果使磷灰石被取代，產生水磷鈾礦 (rhabdophane)、磷鈾礦 (xenotime) 及獨居石 (monazite) 等富含稀土的磷酸鹽礦物。此實驗結果暗示特定的熱液作用可能才是造成火山岩體中局部出現高稀土富集和負鈾異常的主因。

(1) 國立臺灣大學地質科學研究所/朱美妃助理教授

(2) 碩士班/一年級

(3) r11224107@ntu.edu.tw

Stalagmite-inferred hydroclimate changes in southern Europe during Allerød/Younger Dryas transition

Chieh-Ju Hsieh^{1,2}, Hsun-Ming Hu^{2,3}, Chuan-Chou Shen^{2,3}, Véronique Michel^{4,5},
Patricia Valensi^{6,7}, Elisabetta Starnini^{8,9}, and Marta Zunino¹⁰

- (1) Department of Atmospheric Sciences, National Taiwan University, Taipei 10617, Taiwan
- (2) High-Precision Mass Spectrometry and Environment Change Laboratory (HISPEC), Department of Geosciences, National Taiwan University, Taipei 10617, Taiwan
- (3) Research Center for Future Earth, National Taiwan University, Taipei 10617, Taiwan
- (4) CEPAM—Cultures et Environnements Préhistoire, Antiquité, Moyen Âge, CNRS, Université Côte d'Azur, 06300 Nice, France
- (5) Laboratoire Géoazur, OCA, CNRS, IRD, Université Côte d'Azur, 06560 Valbonne, France
- (6) HNHP, UMR 7194, MNHN, CNRS, UPMC, UPVD, Sorbonne Universités, 75013 Paris, France
- (7) Musée de Préhistoire, 06690 Tourrette-Levens, France
- (8) Department of Civilizations and Forms of Knowledge, University of Pisa, Via dei Mille 19, 56126 Pisa, Italy
- (9) Archaeological Superintendency of Liguria, Via Balbi 10, 16126 Genova, Italy
- (10) Toirano Cave, Piazzale D. Maineri 1, 17055 Toirano, Italy

Abstract

The Younger Dryas (YD), a ~1200-yr-long rapid cooling event interrupting the last ice age termination, started from ~12.85 kyr BP (before 1950 C.E.). The Mediterranean hydroclimatic dynamics, however, in response to the abrupt North Atlantic temperature decrease at the onset of YD remains elusive. Here we present stalagmite BA18-2 multi-proxy records at annual-to-decadal resolution from Bàsura cave, northern Italy, southern Europe. A StalAge age model with 8 U-Th dates indicates that BA18-2 covers the regional hydroclimatic variation from 14,038 ± 92 to 12,090 ± 54 yr BP, encompassing Allerød/YD transition with an onset of YD event at 12,870 ± 30 yr BP. Stalagmite BA18-2 oxygen isotope data vary from -7.2 to -3.7‰ and increase in 2.4‰ from the YD onset to the event valley. Sr/Ca and Ba/Ca ratios linger from 0.060-0.085 mmol/mol and 6.4-9.1 μmol/mol, respectively. A 180-year-long two-step increase in Sr/Ca and Ba/Ca started from 12,681 ± 55 to 12,502 ± 28 yr BP, delaying the oxygen isotope increase by 200 years. Carbon isotope data with a 2‰ enrichment in ¹³C are synchronous with Sr/Ca and Ba/Ca changes. We argue that temperature, moisture source, and/or rainfall amount could control the oxygen isotope values; while, Sr/Ca and Ba/Ca ratios and δ¹³C predominantly reflect precipitation change. Our results suggest that the asynchronous thermal and hydrological changes in northern Italy may arise from the reorganization of oceanic and atmospheric circulation during the Allerød/YD transition.

Keywords: stalagmite, stable isotope, trace element, hydroclimate, Younger Dryas, southern Europe

- (1) University: National Taiwan University/ Advisor: Chuan-Chou Shen
- (2) Degree: Undergraduate/ Grade: 3
- (3) Email: jerry16787@gmail.com

環境修復重金屬對植物器官影響程度與生長表土關係

林渝晟¹、游鎮烽¹、高宗佑¹

(1)國立成功大學 地球科學所

摘要

在過去對受汙染的土地，常以投放化學藥劑整治，但此處理方式會對環境產生二次危害。且隨著環境保護的觀念越受重視，過往的做法受到大眾的關注跟質疑，因此發展環境友善的整治方法成了近年的研究熱題。而生長週期快且種植成本低的植物在因其具羽狀根系而更容易接觸並固化污染物，同時優化土壤結構、建立生態系統，進而達到回復生態及環境修復的功能。

本篇研究旨在探討植物各部位(根、莖、葉)對重金屬污染土壤的修復效果。通過收集台灣地區9種野草植物根系、莖幹、葉片以及其表土樣品，分析樣品中重金屬鎘、鐵、鎳、銅、鋅、鉻含量。研究利用計算生物濃縮因子及轉移因子來評估植物進行環境修復及監測環境汙染的潛力。

研究發現，植物根系對目標元素有累積固化的趨勢其鋅、銅金屬元素含量是高於生長表土；而多數樣品莖幹和葉片有著相近甚至低於其生長表土的表現，則能了解目標元素生物利用性低和不易累積固化在莖幹和葉片內，在不同植物物種對重金屬的修復效果也有所差異，而根部對於修復效果的貢獻最大，特別是含羞草(*Mimosa pudica*)其修復鋅汙染有卓越的表現。這些結果對於提高我們對於植物修復污染土壤機制的理解，具有重要的參考價值。

【學生壁報比賽】

- (1) 國立成功大學 / 游鎮烽 教授
- (2) 地球科學所 碩士生 一年級
- (3) atefyuhj112233@gmail.com

蘭陽河流域河水的化學組成與其可能之地質控制

高秉辰¹、徐濔德¹、王興麟¹、王珮玲²、林立虹¹、朱美妃¹

¹國立臺灣大學地質科學系、²國立臺灣大學海洋研究所

摘要

河流系統是沉積物由造山帶輸送至海洋的主要管道，因此河水的化學組成對於自然界的物質循環具有重要的意義。近年有研究指出臺灣地區受到高侵蝕與風化速率影響，河流中具有相當高的硫酸根濃度，可能與變質岩岩層中硫化鐵礦物的溶解有關。然而河流流經不同之岩層是否的確會出現不同的化學組成，過去並沒有系統性的研究。因此本研究嘗試採集流經不同岩層的河水樣本，藉由分析河水中的陰陽離子組成，探討河水的化學組成與其可能的地質控制。

本研究以蘭陽溪的上游數個主要支流作為研究區域，河水採樣點根據支流所流經的地層差異挑選。其中西北側源自雪山山脈的支流主要流經四稜砂岩、乾溝層、西村層，岩性以砂岩、硬頁岩、變質砂岩為主；而東南側中央山脈發源的支流流過以硬頁岩、板岩、千枚岩為主的廬山層，其中武荖坑溪更流經變質程度較高的大南澳片岩。另一方面，雨水及溫泉水的注入亦影響河水的離子變化，因此我們亦採集分析雨水與溫泉水，以推算來自岩層之離子貢獻。

本研究共採集 10 條支流的河水樣本，並收集蘭陽平原雨水與芄芄溫泉、天狗溪噴泉的溫泉水進行分析。於 2022 年 2 月、7 月與 9 月分別進行採樣，水樣經過處理後利用離子層析儀 (IC) 與感應耦合電漿質譜儀 (ICP-MS) 分別獲得陰離子與陽離子濃度數據。現階段結果顯示蘭陽溪各支流河水之離子濃度似乎並非受控於山脈與岩性的差異，硫酸根濃度較高的樣本皆臨近或流經溫泉露頭，暗示硫酸根受到溫泉的影響可能較大；然而濃度最高的保養溪並沒有溫泉露頭的報導，尚有待進一步釐清。根據前人建立的端成分模型，蘭陽河流域河水的陽離子成分與全球大河相似，均來自矽酸鹽岩與碳酸鹽岩的化學風化及混合。基於我們目前得到的結果，我們認為臺灣地區河水中的高硫酸根濃度未必一定僅只受控於變質岩帶中的硫化鐵礦物。未來本研究將持續進行採樣，並深入討論溫泉對本區域支流河水化學組成的影響。

【學生壁報比賽】

(1) 就讀學校：國立台灣大學地質科學系/指導教授：徐濔德博士

(2) 學位：碩士/年級：二年級

(3) E-mail/手機號碼：R10224213@nut.edu.tw

臺灣北部大屯火山區群之最年輕火山穹丘的分類、構造與噴發歷史

Classification, textures and eruption history of the youngest lava dome in the Tatun
Volcanic Group, Northern Taiwan唐懷昱¹、賴昱銘²、宋聖榮¹¹ 國立臺灣大學地質科學系² 國立臺灣師範大學地球科學系

根據斜長石中 ^{226}Ra - ^{230}Th 的不平衡性研究 (Zellmer et al., 2015)，位於臺灣北部的大屯火山群紗帽山的噴發年代約 18 Ka，是鄰近於首都台北市的第四紀活火山，其所造成的任何火山災害都有可能造成嚴重的生命財產損失。然而回顧相關前人研究，鮮少有探討關於紗帽山的類型、構造與噴發歷史；未來進行防災評估時，火山地質的資訊至關重要，應不可忽視。因此，本研究利用數值地形模型、鑽井和野外調查資料；透過地形分析、岩石學分析探討紗帽山火山穹丘的類型、構造與噴發歷史，提供基礎火山地質資訊供後續火山災害評估相關研究使用。

地形特徵辨識上紗帽山可分為二個部分，第一部分為紗帽山西南側的熔岩流，具有扇狀且平坦的地形特徵。第二部分則為的紗帽山主體，具有近似「鐘狀」外型的並可於頂部見到火山口(crater)。在火山口之中則有另一個小穹丘顯現穹丘特有的摺痕(crease)構造。前人的放射性定年研究顯示，第一部分的年代約為 0.41 Ma，主要為兩輝安山岩具有平板狀節理塊狀熔岩流為主，第二部分的年代為 18 Ka，主要為普通輝石-角閃石-紫蘇輝石安山岩並且在產狀上較第一部分更為複雜；山體的中央以及頂端以具混亂節理的塊狀安山岩為主，山體外圍則以火山穹丘的崩積物(Talus)為主。全岩地球化學特徵上 SiO_2 的含量第二部分較第一部分高， FeO 以及 MgO 則較低；指示源區岩漿發生分異作用隨時序演進逐漸酸化。

綜合上述研究結果，紗帽山屬於 Pelècan type 的火山穹丘，其噴發歷史可分為三個階段：第一階段於 0.41 Ma 時發生小規模的溢流式噴發(effusive)，形成現在位於紗帽山西南角的扇狀兩輝安山岩熔岩流發。噴發活動停止，源區岩漿朝酸性

演化，黏滯度升高。直至距今 18 Ka，岩漿岩破裂通道上湧而出，此時的擠出式噴發(extrusive)形成現今紗帽山的主體與火山口，即為第二階段。最後隨岩漿演化更加酸性，在第二階段噴發所遺留的火山口中形成了第三階段的小火山穹丘並保留下褶皺構造，形成現今所見到的紗帽山。

關鍵字: 噴發歷史、皮里恩式火山穹丘、大屯火山群、紗帽山

Keywords: Eruption history, Peléean type lava dome, Tatun Volcanic Group, Mt. Shamao

- (1) 就讀學校/指導教授:國立臺灣大學地質科學系/宋聖榮
- (2) 學位/年級:博士班/四年級
- (3) E-mail/手機號碼:d08224005@ntu.edu.tw